



Effekt av grusmängd och vältning för spårbildning på grusväg.

*Effect of the amount of gravel and overturning on the rutting on
gravel roads*

Oscar Gustafsson

**Arbetsrapport 9 2015
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Tomas Nordfjell**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
S-901 83 UMEÅ
www.slu.se/sbt
Tfn: 090-786 81 00
Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Effekt av grusmängd och vältning för spårbildning på grusväg.

Effect of the amount of gravel and overturning on the rutting on gravel roads

Oscar Gustafsson

Nyckelord: GPR, Skogsbilväg, Virkesbil, FWD, Roadscanner

Arbetsrapport 9 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Extern handledare: Tomas E Johansson, SCA Skog AB

Examinator: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Denna studie har genomförts inom ramen för Examensarbete i skogshushållning motsvarande 30 hp vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå under höstterminen 2014. SCA Skog i Sundsvall har stått som värd och uppdragsgivare för examensarbetet.

Jag vill rikta ett tack till min handledare Tomas Nordfjell som kommit med tänkvärda och viktiga synpunkter under arbetets gång. Jag vill också rikta tack till Tomas Johansson kontaktperson och initiativtagare till studien på SCA Skog för stort engagemang och stöd under arbetets gång. Tack också till Christer Olofsson på SCA som varit huvudsakligt ansvarig och hjälpt till med kontakter och genomförandet av projektet denna studie varit en del av.

Jag vill också tacka alla inblandade operatörer som deltagit och ställt upp med utrustning och fordon med stort engagemang och en nyfikenhet för studien utan vilka genomförandet hade blivit mycket svårare.

Umeå i februari 2015

Oscar Gustafsson

Sammanfattning

Nybyggnation och underhåll av skogsbilvägar medför stora kostnader för skogsbruket. Georadar (GPR) är en teknik som kan användas för att läsa av en vägs struktur vilket ger ett möjligt tillvägagångssätt för att reducera kostnader vid upprustning av vägar. Detta genom att endast partier med sämre bärighet rustas upp och därmed läggs rätt mängd material på rätt ställe längs vägen. Alternativet är dagens subjektiva bedömning av åtgärdsbehov och godtycklig placering av grusmängd.

Syftet med denna studie var att kvantifiera skillnader i spårbildning mellan 100 %, 75 % samt 50 % påförd materialmängd i överbyggnaden av total rekommenderad materialmängd för att uppnå bärighet motsvarande vägklass 3B, samt hur spårbildning i vägkroppen påverkas av vältning. Grusmängden för överbyggnaden dimensionerades med ledning från data insamlade med GPR och fallviktsmätare. Analysen grundade sig på inventering av sex block med vardera tre sträckor (50 meter långa) samt en referenssträcka (30 meter lång), för vilka materialmängd samt behandling skiljde sig åt. Vägytan mättes dagligen inom blocken under en fem-dagarsperiod då vägen belastades av virkestransporter. Den skogsbilväg studien genomfördes på hade en undergrund av normalmorän.

Ingen signifikant skillnad mellan vältade eller ovältade sträckor uppvisades. Inga signifikanta skillnader uppvisades heller mellan sträckorna med olika materialnivåer. Det maximala spårjupet som registrerades uppgick till 87 mm, medelvärde för spårbildningen var 23 mm. Dessa resultat tyder på att den materialmängd som påförs överbyggnaden vid upprustning av en väg kan reduceras, om vägen har en undergrund av normalmorän, utan att spårbildning vid trafikering blir besvärande vid förhållanden liknande de för denna studie. Detta innebär en stor teoretisk besparingspotential för SCA Skog, då den rådande rekommendationen för materialmängd för att uppnå B-bärighet är 1630 ton/km, vilket innebär en materialkostnad om ca 100 000 kr/km. Ytterligare studier krävs för att fastställa möjligheterna till och nivåerna för en materialreducering, då denna studie inte uppvisat besvärande spårbildning behövs studier med lägre materialmängder.

Nyckelord: GPR, Skogsbilväg, Virkesbil, FWD, Roadscanner

Summary

Construction and maintenance of forest roads are costly for the forest industry. Ground Penetrating Radar (GPR) is a technique for reading the road structure, which is a possible approach to reduce the cost of road upgrades. This by simply placing gravel on stretches with lower bearing capacity, and thereby adding the right amount of material in the right place along the way. The alternative is today's subjective assessment of the need for action and arbitrary placement of gravel lot.

The purpose of this study was to quantify differences in rutting between 100 %, 75 % and 50 % applied gravel amount on the superstructure. These amounts were based on the total recommended amount of material to achieve buoyancy corresponding to road bearing class 3B, and how rutting in the road structure is affected by overturning. Gravel amount for the superstructure was designed with guidance from the data collected with the GPR and a falling weight deflect meter. The analysis was based on the inventory of six blocks, each with three sections (50 meters long) and a reference section (30 meters long), where the road surface was measured daily for five days of timber load transport. The study was conducted on a subgrade of normal moraine

No significant difference between overturned or not overturned distances were exhibited. Neither was significant differences demonstrated between sections with different material amounts. The maximum rut depth recorded was 87 mm; the mean of rutting was 23 mm. These results suggest that the amount of material applied to the superstructure at the improvement of a road can be reduced if the road has a subgrade of normal moraine, rutting was not troublesome for traffic on any section. This is a significant theoretical savings potential for SCA Skog, since the current recommendation for the amount of material to achieve the B-bearing capacity is 1630 tons / km, which means a material cost of approximately 100.000 SEK / km. Further studies are required to determine the possibilities and levels of a material reduction, since this study haven't shown troubling degrees of rutting studies with lower material amounts are required.

Keywords: GPR, Forest road, Timber truck, FWD, Roadscanner

Innehåll

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Konstruktion av skogsbilvägar	2
1.2.1 Underbyggnad.....	3
1.2.2 Överbyggnad.....	3
1.3 Jordmekanik och klassificering av jordarter.....	4
1.4 Vattens inverkan på vägens bärande förmåga	5
1.5 Spårbildning.....	6
1.6 Mätmetoder.....	7
1.7 Roadscanner.....	8
1.8 Syfte.....	9
2 Material och metoder	10
2.1 Generellt	10
2.2 Georadarskanning och jordartsbestämning med hjälp av Roadscanner	11
2.2.1 Georadarskanning	11
2.2.2 Jordarts och kornstorleksfördelning.....	12
2.3 Förberedelser för fältstudie.....	13
2.3.1 Identifiering av sträckor	13
2.3.2 Dynamisk deformationsmodul (E_{vd})	15
2.3.3 Upprustning av vägen med grusning och vältning	17
2.3.4 Bestämning av vattenkvot genom provgroppsgrävning.....	17
2.4 Fältförsök med virkesbilar.....	18
2.4.1 Generellt.....	18
2.4.2 Spårdjupsmätningar	18
2.5 Beräkningar och analyser	20
3 Resultat.....	21
4 Diskussion	27
4.1 Huvudsakliga resultat	27
4.2 Jämförelse med tidigare studier	28
4.3 Tillämpning	29
4.4 Egen kritik	29
4.5 Fortsatta studier	31

4.6 Slutsatser.....	33
Referenser.....	34
Bilaga 1. Resultat från första resp. andra skanningen med Roadscanner av Aspåsvägen	I
Bilaga 2. Siktningsprotokoll.....	VI
Bilaga 3. Residualplot för spårdjup.....	VIII
Bilaga 4. General Linear Model: Spårdjup versus Materialmängd; Behandling	IX

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att upprätthålla ett skogsbilsvägnät är avgörande för möjligheten att på ett ekonomiskt sätt transportera virke från skog till industri (Anon. 2011a). Det ekonomiska underlaget för att underhålla dessa vägar är oftast mycket små (Dawson m.fl. 2007). Skogsbilvägnätet är också en viktig förutsättning för att skötselåtgärder i skogen skall kunna utföras vid rätt tidpunkt (Filipsson & Grahn 1999). Nybyggnation och underhåll av skogsbilvägar är en betydande del i den totala kostnaden för en avverkning för skogsbolagens brukande av skogen (Epstein m.fl. 1999) men även för privata skogsägare (Skogforsk 2013). Skogsbolaget SCA Skog lägger årligen ner 120-170 miljoner kronor på väghållning vilket fördelas på en årlig avverkningsvolym av sju miljoner fastkubikmeter under bark (m^3fub). Detta innebär en kostnad på 20-25 kr per m^3fub för väghållning (Boman 2012).

För att minska kostnaderna vid nybyggnation och upprustning av vägar bör nya metoder för projektering och rustning tillämpas. SCA Skog använder i dagsläget subjektiva metoder vid bedömning av vägens tillstånd vilka utförs av vägansvariga och distriktsansvariga på förvaltningarna (Johanson 2014 Pers. komm). Bedömningarna utförs i dagsläget genom subjektiv besiktning i fält för bedömning av en vägs tillstånd och upprustningsbehov. Detta förfarande kräver stor erfarenhet och vana för att ett fullgott resultat ska uppnås (Mähler 2014 Pers. komm). Som alternativ till de subjektiva inventeringsmetoderna finns det i dagsläget för det allmänna vägnätet objektiva inventeringsmetoder för att bestämma vägens tillstånd. Detta är dock inget som tillämpas i någon större utsträckning inom svenskt skogsbruk då utrustningen är mycket kostsam och ännu relativt oprövad inom skogsbruket. Som ett led i detta har SCA Skog inlett ett samarbete med företaget Roadscanner, vilket syftar till att med modern teknik på ett kostnadseffektivt och objektivt sätt klassificera skogsbilvägar och erhålla ett riktat åtgärdsförslag. Genom detta förfarande erhålls ett större dataunderlag än vid den subjektiva bedömningen av åtgärdsbehovet. Tidigare samarbeten har skett mellan SCA och Roadscanner i mindre projekt. I de fallen har Roadscanner stått för mätning av vägens tillstånd vilket sedan jämförts med subjektivt bedömda upprustningsförslag. Inom Timmerleden-projektet var slutsatserna att vid användande av rekommenderad materialmängd höll vägen för dimensionerad trafikmängd (Christoffersson & Johansson 2012). Längs Sundsjövägen (Anon. 2012a) gav den objektiva metoden ett åtgärdsförslag vilket jämfördes med subjektiva bedömningar från vägansvariga. Där konstaterades att Roadscanner med sin objektiva metod lokaliserade avsnitt med kraftigt sämre bärigheter som den subjektiva metoden inte funnit (Johansson 2014) vilket talar för en objektiv inventeringsmetod med riktade åtgärder.

1.2 Konstruktion av skogsbilvägar

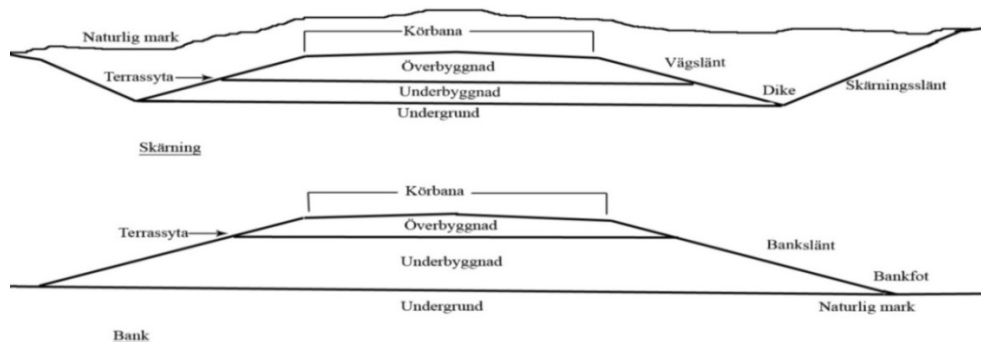
SCA Skog konstruerar skogsbilvägar enligt en egen framtagen instruktion gällande dimensionering av överbyggnad och väglinjens positionering i landskapet (Anon. 2006). Denna instruktion baseras på Skogsstyrelsens mer omfattande *Anvisning för planering och byggnad av skogsbilvägar* (Gunnarsson m.fl. 2011). En skogsbilväg definieras enligt Gunnarsson m.fl. (2011) som en väg med huvudsaklig uppgift att tillgodose skogsbrukets behov genom virkestransporter med lastbil. Skogsbilvägar indelas i fyra olika klasser utifrån dimensionerad hastighet samt vägens tillgänglighet under året (Tabell 1). Faktorer som beaktas vid klassindelningen är vägens bredd, kurvighet samt lutning. Tillgänglighetsklassen styrs av vilka perioder på året som vägen är farbar för trafik, där en A-väg håller högst bärförmåga och en D-väg lägst (Tabell 1) (Gunnarsson m.fl. 2011).

Tabell 1. För skogsbilvägar angivna tillgänglighets och hastighetsklasser (efter Hannerz & Hallgren 2014)

Table 1. Specified availability and speed ratings for forest roads (after Hannerz & Hallgren 2014)

Tillgänglighet	Dimensionerande hastighet, (km/h)			
	60	40	30	20
Last- och personbilstrafik hela året.	1A	2A	3A	-
Lastbilstrafik hela året utom vid svår tjällossning. Personbilstrafik hela året.	1B	2B	3B	-
Lastbilstrafik hela året utom under tjällossnings- och ihållande regnperioder. Personbilstrafik hela året utom under tjällossningen.	-	2C	3C	4C
Lastbilstrafik i huvudsak vintertid. Personbilstrafik även sommartid.	-	-	-	4D

En vägkropp är uppbyggd av ett antal olika materiallager. De vilar på en undergrund, vilket är det ostörda naturliga materialet på platsen (Gunnarsson m.fl. 2011). Vid konstruktion av en vägkropp skärs vägen ner under den naturliga markytan eller läggs på bank ovan den befintliga markytan. (Figur 1) (Kramer 2001; Gunnarsson m.fl. 2011). Skärning görs för att jämna ut lutningen på vägen i höjddled, medan bankning genomförs för att undvika dalar eller svackor (Gunnarsson m.fl. 2011).



Figur 1. Vägområde i genomskärning vid skärning och bank, efter Karlefors (2014).
Figure 1. Cross-section of a road area when cut and banked, after Karlefors (2014).

1.2.1 Underbyggnad

Terrassering avser utformningen av vägkroppen med dess slänter och diken. Terrassytan utgör den övre gränsen för underbyggnaden vilken i huvudsak byggs upp av material som finns på platsen (Hannerz & Hallgren 2014), vilket även påverkar dess bärighet (Filipsson & Grahn 1999). Enligt Trafikverket (Anon. 2011b) definieras bärighet som *"Högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer"*. De faktorer som främst påverkar terrassytans bärförmåga förutom jordarten materialet består av är fuktförhållanden i materialet (Gunnarsson m.fl. 2011). Hög finjordsandel samt en hög vattenkvot genererar en svagare terrass (Hannerz & Hallgren 2014).

1.2.2 Överbyggnad

De vanligaste sammansättningarna av överbyggnad för skogsbilvägar är bär- och/eller slitlager (Gunnarsson m.fl. 2011). Konstruktionen på överbyggnaden är avgörande för den eftersträlvade bärigheten då det är överbyggnaden som skall fördela ut de påförda krafterna från trafikbelastning. Överbyggnad bör inte läggas på en terrass innan denna justerats klart (Gunnarsson m.fl. 2011). Vid en för svag konstruktion uppstår risker för skador och deformationer inducerade av trafikerings (Granhage 2009). Skogsstyrelsens överbyggnadsdimensionering (Gunnarsson m.fl. 2011) baseras på tillgänglighetsklass, jordart i undergrund/underbyggnad samt klimat och fuktighetsförhållande. SCA Skog har omarbetat Skogsstyrelsens dimensioneringstabell (Anon. 2006) genom att konvertera måttangivelserna för överbyggnaden från centimeter till mängd material i ton/km (Tabell 2).

Tabell 2. SCA Skogs tabell för rekommenderade överbyggnadstjocklekar för olika undergrundsmaterial (efter Anon. 2006)

Table 2. SCA Forest table for recommended pavement thicknesses for different sub-base material (after Anon. 2006)

Undergrund	Bärighetsklass			
	A	B	C	D
Grus	1220 ton/km	820 ton/km	820 ton/km	410 ton/km
Sandigt grus	15 cm 0-40	10 cm 0-40	10 cm 0-40	5 cm 0-40
Grusig morän				
Grusig sand	1630 ton/km	1220 ton/km	820 ton/km	410 ton/km
Sand Grovmo	20cm 0-40 alt.	15 cm 0-40 alt.	10 cm 0-40	5 cm 0-40
	15 cm 0-80 +	10 cm 0-80 +		lätt trafik
	5 cm 0-30	5 cm 0-30		
Sandig och	2450 ton/km	1630 ton/km	820 ton/km	410 ton/km
Normal morän	25 cm 0-80 +	20 cm 0-40 alt.	10 cm 0-40	5 cm 0-40
	5 cm 0-30	15 cm 0-80 +		lätt trafik
		5 cm 0-30		
Övriga	3260 ton/km	2450 ton/km	1630 ton/km	410 ton/km
finjordsrika	35 cm 0-80 +	25 cm 0-80 +	20 cm 0-40 alt.	5 cm 0-40
jordarter	5 cm 0-30	5 cm 0-30	15 cm 0-80 +	lätt trafik
			5 cm 0-30	

För att erhålla en högre bärighet för materialet i över- och underbyggnaden krävs packning i någon form för att densiteten i strukturen ska höjas (Dynapac 2000). Detta kan i vissa fall genomföras med trafikens egentygnd (Dawson & Kolisoja 2006) men den vanligaste åtgärden är vältnings (Jonsson m.fl. 1991). Krossat material har bättre packningsegenskaper än naturmaterial (Wiman 2006).

Normala fraktioner för bärlager är 0-50 mm alternativt 0-35 mm. Detta innebär att materialet sorterats för att innehålla kornfraktioner mellan 0-50 mm alternativt 0-35 mm i diameter. Ovanpå bärlagret läggs vid behov ett slitlager vilket oftast består av 0-10 mm (Gunnarsson m.fl. 2011; Karlefors 2014). SCA Skog använder främst fraktionerna 0-80 mm för bärlagret och 0-32 mm för slitlagret (Mähler 2014 Pers. komm.).

Material från en kommersiell täkt kostar mellan 65-80 kr/ton, vilket beror på täktens lokalisering och volymsbehovet från täkten, där en mindre volym genererar ett högre pris per ton. Från husbehovstäkt vilket är en täkt avsedd endast för ägarens nyttjande och ej försäljning till utomstående, är kostnaden lägre, runt 50 kr/ton (Mähler 2014 Pers. komm.). Detta innebär en kostnad på ca 114 000 kr/km vid upprustning från D-bärighet utan överbyggnad till B-bärighet enligt SCA:s dimensioneringsunderlag och förutsatt att material kommer från en kommersiell täkt. Motsvarande kostnad med material från en husbehovstäkt är ca 81 500 kr/km. Kan dessa materialmängder halveras genom riktade åtgärder kan kostnaderna minskas med 40 750-57 000 kr/km samt även ge en minskad andel transporter vid rustningstillfället.

1.3 Jordmekanik och klassificering av jordarter

En övergripande klassificering av jordar är indelning i de två klasserna mineraljord och organisk jord. Mineraljordar indelas baserat på kornstorlek och kornstorleksfördelning (Karlsson & Hansbo 1992). För klassificering och indelning finns olika skalor och tillvägagångssätt vilket innebär att gränsvärden kan skilja sig åt mellan olika system (Tabell 3). Inom skogsbruket används främst en modifierad version av Atterbergs skala (Karlefors 2014) medan den internationella standarden SS-EN ISO 14688-1 används i geotekniska sammanhang (Lidberg 2009; IEG 2010). Den största skillnaden mellan de två skalorna är att mjäla och mo enligt Atterbergs skala benämns som silt och finsand i ISO 14688-1. Fortsättningsvis i detta arbete kommer benämningarna från SS-EN ISO 14688-1 att användas.

Tabell 3. Fraktionsindelning enligt Atterbergs skala och SS-EN ISO 14688-1 (Karlsson & Hansbo, 1992; IEG 2010) efter Karlefors (2014)

Table 3. Fraction division according to the Atterberg scale and SS-EN ISO 14688-1 (Karlsson & Hansbo, 1992; IEG 2010) after Karlefors (2014)

Fraktionsindelningsmetod					
Atterbergs			SS-EN ISO 14688-1		
Kornstorlek (mm)	Beteckning		Kornstorlek (mm)	Beteckning	
> 2000	Block		> 2000	Block	Stora block
600-2000			630-2000		
200-600			200-630		
60-200	Sten		63-200	Sten	
20-60			20-63		Grovgrus
6-20	Grus	Grovgrus	6,3-20	Grus	Mellangrus
2-6		Fingrus	2-6,3		Fingrus
0,6-2	Sand	Grovsand	0,63-2	Sand	Grovsand
0,2-0,6		Mellansand	0,2-0,63		Mellansand
0,06-0,2	Mo	Grovmo	0,063-0,2		Finsand
0,02-0,06		Finmo	0,02-0,063		Grovsilt
0,006-0,02	Mjåla	Grovmjåla	0,0063-0,020	Silt	Mellansilt
0,002-0,006		Finmjåla	0,002-0,0063		Finsilt
0,0006-0,002	Lera		0,00063-0,002	Lera	
< 0,0006			< 0,00063		

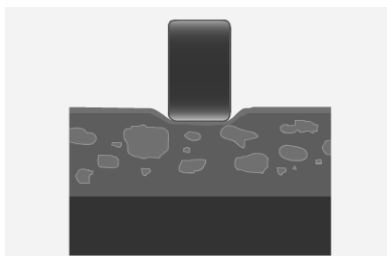
1.4 Vattens inverkan på vägens bärande förmåga

Vid vägkonstruktion är fullgod dränering av vägkroppen viktigt då vatten har en starkt nedsättande effekt på bärigheten (Haynes & Swift 1990). Finkorniga jordar har en hög vattenupptagningsförmåga samt möjlighet att kapillärt ta upp grundvatten (Eriksson m.fl. 2005), vilket medför ökad känslighet under tjällossningsperioder samt vid nederbörd (Lindskog m.fl. 1988). Högre vattenmängd i vägkroppen medför ökad sannolikhet för materialförflyttning genom skjuvning, vilket uppstår då två parallella ytor förskjuts i förhållande till varandra. Risken för detta är störst i finkorniga jordar (Berglund 2009), ett fenomen som kan motverkas genom att vägkroppen dräneras. Då materialet i vägen är vattenfyllt och då vattensamlingar uppstår på vägbanan ger detta en försämrad bärighet (Granhage 2009). Även trafikbelastning ökar trycket från vattnet i jordens porer (Löfroth 1995) vilket leder till en kraftig reducering av materialets bärande förmåga (Dawson & Kolisoja 2006).

1.5 Spårbildning

Spårbildning bör undvikas då detta ger upphov till att vatten kan tränga in i vägkroppen istället för att rinna av den. En deformation, spårbildning, uppstår då en formförändring sker i materialet som belastas. En deformation definieras som förhållandet mellan initial och förändrad profil (Roadex 2013). Tre faktorer spelar in vid uppkomst av spårbildning; materialets densitet/packningsgrad, trafikmängden och miljöfaktorer så som temperatur och fuktighet (Tarefder m.fl. 2003). Spårbildning indelas generellt i fyra olika typer beroende av uppkomstsätt, vilka är typ 0,1,2 och 3 (Figur 2-4) (Dawson & Kolisoja 2006; Dawson m.fl. 2007; Karlefors 2014).

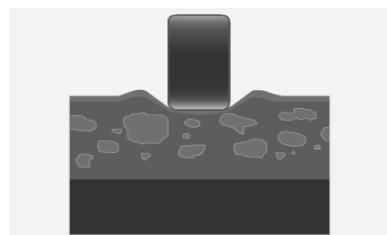
Typ 0 uppkommer som följd av att översta lagret i en vägkropp inte packats tillräckligt innan belastning av trafik (Figur 2). Detta innebär att trafikering av ordinarie trafik genererar packning av vägen.



Figur 2. Spårbildning av typ 0, bild hämtad från Roadex ©.

Figure 2. Type 0 rutting, picture from Roadex ©.

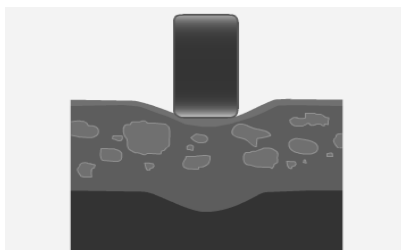
Typ 1 uppstår till följd av att de övre delarna i vägkroppen har en för låg skjuvhållfasthet, i direkt anslutning till däckens sidor (Figur 3). Denna typ av spårbildning uppkommer ofta då ett överbyggnadsmaterial med dålig kvalitet har använts eller då materialet har vattenmättats. Vattenmättningen sker huvudsakligen under vårens avsmältning vilken leder till ökad vattenmängd i överbyggnaden. Risken för att typ 1 skall uppkomma kan reduceras genom packning av materialet, bättre dränering eller genom sänkt däcktryck (Dawson & Kolisoja 2006).



Figur 3. Spårbildning av typ 1, bild hämtad från Roadex ©.

Figure 3. Type 1 rutting, picture from Roadex ©.

Typ 2 är spårbildning som ett resultat av att undergrunden har en för låg bärighet och därmed fallerar. Undergrundsmaterialet pressas då utåt och uppåt mot vägkroppens sidor (Figur 4), vilket även leder till att överbyggnaden deformeras men utan en förtunning av materialet. Orsaken till denna deformation är ett vattenöverskott i undergrunden till följd av tjällossning. Bättre fördelning av tryckbelastningen genom tjockare överbyggnad kan motverka denna form av spårbildning (Dawson & Kolisoja 2006).



Figur 4. Spårbildning av typ 2, bild hämtad från Roadex ©.

Figure 4. Type 2 rutting, picture from Roadex ©.

Typ 3 skiljer sig från typ 0 i det avseende att den orsakas av vittring och nötning av materialet istället för kompaktering. Denna typ av spårbildning är mycket ovanlig på lågtrafikerade vägar i vilka skogsbilvägar innefattas (Dawson & Kolisoja 2006).

Spårdjup mäts som den maximala avvikelser i vägytan mot en virtuell linje som går från den ena sidan av vägen till den andra via väg-mitt. Avståndet från denna ned till vägytan anges som spårdjup, totalt alternativt för respektive väghalva (Anon. 1997). Anpassningar av denna metod har gjorts inom skogsbruket men då främst till användning inom spårmätning i terrängen (Fries 1976).

1.6 Mätmetoder

Vid undersökningar av en jords lagerföljd och kornstorleksfördelning kan provtagning ske på representativt valda eller subjektivt utlagda punkter för hand eller med hjälp av mindre grävmaskin (SGF 1996; 2013). En alternativ metod är användandet av en geoteknisk borrhandsvagn (SGF 1996; Larsson 2007). Utifrån Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) (1996) kan provtagning indelas i tre olika kategorier:

- *Ostörda jordprover* – Jorden har en oförändrad jordlagerföljd samt har kvar sina mekaniska egenskaper.
- *Störda jordprover* – Jorden har en oförändrad jordlagerföljd men har förändringar i dess mekaniska egenskaper.
- *Omrörda jordprover* – Jorden har en uppblandad jordlagerföljd samt har förändringar i jordens mekaniska egenskaper.

Provgropsgrävning innebär att gropar grävs och *omrörda jordprover* tas. Storlek och djup för gropen styrs av metod för gropgrävning samt grundvattenytan. Gropen skall vara av sådan storlek att provtagningen kan ske enkelt. Fördelen med metoden är att stora prover kan tas ut samt att representativa punkter kan väljas (SGF 1996). Nackdelar med metoden är att det är svårt att helt återställa provpunkten och att metoden är långsam (SGF 2013).

Storleken på jordproven är starkt beroende på typen av efterföljande analys som skall genomföras på jorden samt vilken fraktion den består av (Tabell 4).

Tabell 4. Provmstorlek (gram) för laboratorieanalys av jordprover (SGF 1996) efter Karlefors (2014)
Table 4. Sample size (gram) for laboratory analysis of dirt samples (SGF 1996) after Karlefors (2014)

Laboratorieundersökning	Jordart			
	Lera	Silt	Sand	Grus/morän
Vattenkvot	10-30	10-30	100-200	>500
Densitet	20	20	50	50
Konflytgräns	100	100		
Siktning	200-500	200-500	200-500	500-1500

Fallviktsmätning (FWD) är en metod som möjliggör mätning av den dynamiska styvheten (bärigheten) för en vägkonstruktion (Briggs m.fl. 2000). Denna mätning sker kontinuerligt för hela studieområdet med 25 meter som standardintervall. Bärigheten mäts genom att en vikt släpps på en belastningsplatta vilken överför kraften via ett fjädersystem till vägkonstruktionen. Den överförda belastningen uppgår till 50 kilo Newton (kN) och motsvarar belastningen vid en överfart med ett lastbilshjul. Deflektionen som uppstår från belastningsplattan ligger till grund för att beräkna styvheten i väggroppens olika lager (Neal 2004; Anon 2012b). Resultaten redovisas i styvhetsmoduler (E-moduler) i Mega Pascal (MPa), vilka är ett mått på hur väl ett material motstår deformation, för vägkonstruktionens olika lager (Anon. 2012c).

Georadar (GPR) är ett system som kontinuerligt sänder ut kortvågiga elektromagnetiska pulser i spannet 10 MHz till 2,5 GHz för att fastställa struktur och omfattning av olika jordlager inom ett markområde (Conyers & Goodman 1997; Saarenketo 2006). En högre frekvens ger en grundare men mer högupplöst penetration av marken än en lägre frekvens vilken går djupare men med lägre upplösning (Noureldin m.fl. 2003; Neal 2004). GPR har visat sig vara en mycket effektiv och exakt metod för inventering av jordlagrens uppbyggnad i väggroppen (Saarenketo & Scullion 1999; Saarenketo & Scullion 2000) och introducerades i Sverige under tidigt åttiotal (Johansson 1987). Den mest utvecklade och mest använda kombinationen av metoder för mätning av vägars egenskaper är GPR och FWD (Saarenketo & Scullion 2000; Saeed & Hall 2003).

1.7 Roadscanner

Roadscanner är ett finskt företag vilket bedriver sin verksamhet inom inventering av vägar, järnvägar, betongbroar och tunnlar samt geologiska undersökningar. Verksamheten bygger på egenutvecklade mjukvaror som med hjälp av hårdvara i form av bland annat GPS och GPR mäter tillståndet för behandlingsområdet och baserat på dessa data ges åtgärdsförslag baserat på formel enligt Odemark (1949) via konsultering (Roadscanner 2014).

Roadscanner-konceptet bygger på ett integrerat system monterat på en skåpbil bestående av ett GNSS (Global Navigation Satellite System) ett INS (Internal navigation system) och en laserscanner för skapande av högupplösta digitala kartor av studieområden (Vartziotis 2006). Utöver detta använder Roadscanner sig av GPR för att kartlägga strukturerna i väggroppen

och FWD för att få materialets elasticitetsmodul. GNSS ger möjligheter att knyta specifika data till en specifik punkt ned till millimeterprecision (Dow m.fl. 2009). Detta tillsammans med laser samt kamera ger möjligheter att läsa av vägytan i hög upplösning samt även överblicka vägområdet efter potentiella förklaringar till upptäckta defekter eller svagheter (Vartziotis 2006). Roadscanner har aktivt deltagit under Roadex-projektet vilket har inriktat sig på att kartlägga bärighet och strukturell uppbyggnad på vägar inom Norden. Främst har lågtrafikerade vägar med och utan bundna överbyggnadslager studerats (Johansson 2005). I ett försök att minska kostnaden för tjänsten vid inventering av vägar med lägre krav har initiativ av SCA Skog tagits till att utveckla en skogsvägsprogramvara tillsammans med Roadscanner. Utvecklingen av skogsvägsprogramvaran skall fokusera på möjligheter att minska kostnader i samband med vägupprustning, samt minska de osäkerheter som finns i samband med subjektiv bedömning av åtgärders omfattning (Johansson 2014 Pers komm.). Detta för att skapa nya möjligheter till utveckling samt tillgänglighet av information för skogsbilvägsunderhåll.

1.8 Syfte

Syftet med examensarbetet var att kvantifiera spårbildning på en skogsbilväg efter tung virkestransport vid tre olika grusmängder i överbyggnaden samt med eller utan vältning av vägen.

2 Material och metoder

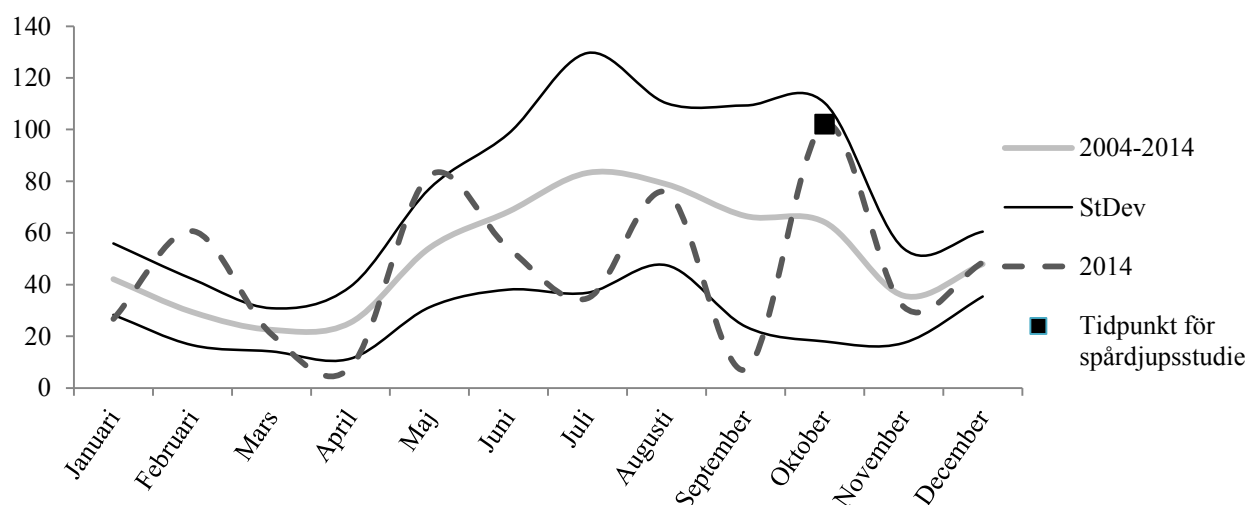
2.1 Generellt

Studieobjektet Aspåsvägen var lokaliserat 12 km sydväst om Ramsele inom SCA Ångermanlands förvaltning. Vägens längd uppgick till ca 8 700 meter och blev byggd under 1960-talet (Mähler 2014 Pers. komm). Vägen dikesrensades och riktades hösten år 2013 samt våren år 2014 och var i huvudsak byggd på bank med diken på väggroppens båda sidor. Studieobjektet utgjordes i utgångsläget av en terrass utan överbyggnad med en i huvudsak C-bärighet. För att uppnå B-bärighet längs hela vägen dimensionerades den enligt Roadscanners förslag till 100 %. De sträckor som dimensionerats med 75 % resp. 50 % materialmängd i överbyggnaden avser denna andel av Roadscanners initiala förslag av 100 % materialmängd.

Studien utfördes i två delar. Den första delen bestod av att vägen skannades med Roadscanner för kartläggning av jordlagerföljd, jordart samt bärighetsegenskaper genom analys av skanningsdata och resultat från provgropsgrävning. Utifrån Roadscanners insamlade och tolkade data levererades ett åtgärdsförslag för att uppnå B-bärighet. Utifrån detta åtgärdsförslag genomfördes den andra delen av studien, vilken innefattade identifiering av sträckor med liknande egenskaper gällande bärighet vilka grupperades i block. Efter upprustning av vägen fastställdes vattenkvoten för sträckorna genom provgropsgrävning med ett prov per sträcka i samband med vilka jordarten bestämdes i fält. Därefter följde en fullskalig spårdjupsstudie där sträckorna mättes in inför samt efter trafikering med virkesbilar. Dessa förfaranden beskrivs mer ingående senare i detta kapitel.

Nederbörds mängden inom försöksområdet kartlades för att fastställa hur väl den aktuella nederbörden för året var representativt för området. Nederbörds mängden hade varit störst i juli under de senaste elva åren (Figur 5). År 2014 var ett år med kraftiga avvikelser för flera månader från det normala månadsmedelvärdet. Nederbörden under perioden innan spårdjupsstudien kantades av kraftig nederbörd. Dagarna innan spårdjupsstudien var nattkalla vilket resulterade i en lättare tjällossning under studiens första dagar. Under spårdjupsstudien föll lättare nederbörd av regn eller snöblandat regn.

Nederbörd (mm)



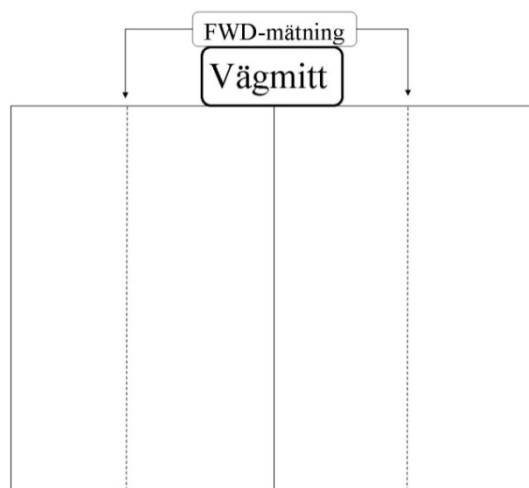
Figur 5. Månadsvis nederbördsmängd för Edsele väderstation, medelvärde och standardavvikelse för perioden 2004-2014 samt total månadsvis nederbörd för 2014 (SMHI 2014).

Figure 5. Monthly rainfall for Edsele weather station, mean and standard deviation for the period 2004-2014 and the total monthly rainfall for 2014 (SMHI 2014).

2.2 Georadarskanning och jordartsbestämning med hjälp av Roadscanner

2.2.1 Georadarskanning

För att fastställa vägens initiala bärighet mätt i MPa, jordlagerföljd, avstånd till berggrund i meter samt trumlägen genomfördes en scanning i regi av Roadscanner. Beräkningar av terrassens bärighet genomfördes med hjälp av data insamlade av ett antal instrument. GPR som användes vid tillfället var av märket GSSI SIR-30 med en 2GHz och en 400MHz antenn, dessutom användes kamera med GPS-referering av märket Novatel Span-CPT för kontroll av diken. Lasermätning och 3D-profil av vägområdet samt en mätning av vägkroppens hållfasthet med en FWD av märket KUAB genomfördes (Matintupa 2014, Pers. komm.). FWD-mätningen genomfördes på respektive väghalva (Figur 6). Roadscanner levererade ett material innehållande initialtillstånd för vägen och rekommenderad dimensionering för åtgärder längs vägen (Bilaga 1) med en upplösning på meternivå av vägkroppens bärighet. Utifrån detta var det möjligt att vid spårdjupsmätningarna koppla mätpunkten till en specifik bärighet (mätt i MPa) av vilka medelvärden för varje sträcka beräknades (Tabell 7). En andra skanning genomfördes efter genomförd upprustning, innan uttransporten av virke genomfördes vilken mätte måluppfyllnaden av de olika behandlingarna med avseende på bärighet (Tabell 7) (Bilaga 1).



Figur 6. Schematisk skiss över vägbanan samt lägen för Fallviktsmätningar (FWD).

Figure 6. Schematic outline of the roadway and the positions of the Falling weight deflect meter (FWD) measurements.

2.2.2 Jordarts och kornstorleksfördelning

Jordens sammansättning bestämdes genom materialprover (med en vikt om ca 2 000 gram) tagna på två av Roadscanner specificerade representativa punkter längs vägen baserade på det initiala datat från skanningen. Proverna togs ut av vägansvarig på SCA Ångermanlands förvaltning, enligt instruktion i Anon. (2000) vilka skickades in till laboratorium där kornstorleksfördelningen bestämdes via våtsiktning. Våtsiktning genomfördes för att undvika underskattning av andelen finjordsfraktioner vilket kan ske vid torrsiktning (Larsson 2008). Provsvaran (Bilaga 2) uppvisade störst variationer i finjordsfraktionen med en skillnad på 7 % och mindre variationer för de större fraktionerna (Tabell 5). Fraktionsvärdena för underbyggnaden/undergrunden var inom gränserna för grusig, sandig, siltig morän (normalmorän) enligt Karlsson och Hansbo (1992) nomogram.

Tabell 5. Resultat från våtsiktning där, kornstorlekens råviktprocent av jordprovets bruttovikt (material < 63 mm) samt medelvärde anges

Table 5. Results from wet screening where, grain size by rawweight of the soil sample gross weight (material < 63 mm) and mean value are presented

Punkt	Kornstorlek		
	<0,063 (mm)	0,063 – 2 (mm)	2 - 63 (mm)
	Finjord	Sand	Grus
1	31,0	39,0	30,0
2	24,0	42,0	34,0
Medel:	27,5	40,5	32,0

2.3 Förberedelser för fältstudie

2.3.1 Identifiering av sträckor

Utifrån analysen av skanningsresultatet från den initiala skanningen urskiljdes 18 stycken sträckor på 50 meter vardera (Figur 7; Tabell 6) med en initial terrassbärighet inom spannet 18-81 MPa, vilka delades upp i 6 stycken block. Varje block bestod av 3 sträckor vardera med ett av alternativen 100 %, 75 % resp. 50 % rekommenderad materialmängd i överbyggnaden (Tabell 6). Sträckorna grupperades med avseende på liknande egenskaper gällande bärighet. Sträckorna inom blocken benämndes med motsvarande ID-nummer de erhöi i skanningsdatat för enkel urskiljning i GIS (Figur 7). Behandlingen för Block 1, 3 och 5 valdes till vältning medan Block 2, 4 och 6 valdes till packning endast med tyngden från grus- och virkesbilar (ovältad). De block som valdes ut för vältning valdes utifrån deras placering längs vägen, för att därmed minimera körning med välten över sträckor som ej skulle vältas. Utöver de 18 försökssträckorna urskiljdes sex stycken referenssträckor (en för varje block) på 30 meter ut med medelbärighet i intervallet 142-217 MPa för möjligheten att erhålla referensvärden för spårbildningen på försökssträckorna. Dessa sträckor skulle enligt den inledande skanningen klarat trafikbelastningen även utan upprustning. Därför skulle referenssträckorna ge en indikation på vilka formförändringar som skedde i terrassen på försökssträckorna och mäta den naturliga kompakteringen i överbyggnadsmaterialet. Längden på referenssträckorna begränsades från 50 meter till 30 meter. Detta som följd av svårigheten att identifiera ett tillräckligt antal sträckor på 50 meter samlade nära varandra inom detta bärighetsintervall. Detta innebar att 1732 ton material/km påfördes vid 100 % dimensioneringsmängd enligt Roadscanners förslag vid 4,5 m terrassbredd. Motsvarande siffra för 75 % var 1299 ton/km och för 50 % var 866 ton/km (Tabell 6), den senare motsvarar mängden för en C-bärig väg enligt Anon. (2006).

Uppmärkning i fält gjordes för sträckorna med stakkäppar med information om materialmängd, behandling samt längd för respektive sträcka. Sträckorna märktes även upp i GIS och kartor till lastbilsentreprenörer inför grusning. Innan samt efter sträckorna lades övergångszoner ut för att minimera risken för att felaktig materialmängd påfördes inom sträckan.

Totalt ämnades 24 sträckor att mätas in. Men vid inmätningen av sträckorna under spårdjupsstudien saknades sträcka 11.7 (inom Block 3) i materialloggen, vilket uppdagades först vid den avslutande mätningen vid vilken tidpunkt sträckan helt uteslöts från studien. Detta medförde att det totala antalet inventerade sträckor i studien var 23 stycken.

Tabell 6. Vägsträckorna som ingick i de olika blocken med specificerad mängd bärlager (0-80), slitlager (0-32), medelbärighet (MPa)före och efter åtgärd samt respektive sträckas standardavvikelse (StDev)

Table 6. Road sections that were included in the blocks with specified, quantity bearing (0-80), quantity wearing course (0-32), their bearing capacity (MPa) before and after treatment and the respective stretches standard deviation (StDev)

Block	Material-mängd (%)	Behandling ¹	Sträcka ²	Sträcktyp	Initial-bärighet ³ (Mpa)	StDev	Grusning		Bärighet efter grusning ³ (Mpa)	StDev
							Bärlager	Slitlager		
							0-80 (ton/km)	0-32 (ton/km)		
1	100	V	2.1	Referens	217 (3,6)		1 181	551	217 (3,8)	
1	100	V	11.2	Försöks	54 (4,9)		1 181	551	93 (5,6)	
1	100	V	11.4	Försöks	51 (4,0)		1 181	551	90 (4,3)	
1	100	V	11.5	Försöks	58 (21,3)		1 181	551	95 (23,4)	
2	100	Ov	4	Referens	210 (7,0)		1 181	551	210 (7,0)	
2	100	Ov	35	Försöks	69 (6,0)		1 181	551	108 (6,0)	
2	100	Ov	41.1	Försöks	62 (7,5)		1 181	551	101 (7,9)	
2	100	Ov	41.2	Försöks	68 (3,1)		1 181	551	107 (3,0)	
3	75	V	2.2	Referens	221 (11,1)		748	551	221 (11,1)	
3	75	V	11.7	Försöks	- -		748	551	- -	
3	75	V	31.1	Försöks	54 (2,1)		748	551	93 (2,4)	
3	75	V	31.3	Försöks	58 (7,4)		748	551	96 (7,8)	
4	75	Ov	6.1	Referens	178 (11,1)		748	551	178 (11,0)	
4	75	Ov	37	Försöks	39 (6,5)		748	551	75 (7,4)	
4	75	Ov	53	Försöks	47 (15,5)		748	551	85 (16,8)	
4	75	Ov	80	Försöks	35 (4,9)		748	551	71 (6,0)	
5	50	V	2.3	Referens	142 (50,5)		315	551	142 (50,5)	
5	50	V	19	Försöks	38 (6,5)		315	551	75 (7,9)	
5	50	V	21	Försöks	35 (13,2)		315	551	70 (16,4)	
5	50	V	23.1	Försöks	47 (15,5)		315	551	84 (16,8)	
6	50	Ov	6.2	Referens	173 (53,1)		315	551	174 (52,8)	
6	50	Ov	47	Försöks	41 (2,5)		315	551	78 (2,8)	
6	50	Ov	49	Försöks	47 (2,7)		315	551	85 (3,3)	
6	50	Ov	51	Försöks	40 (5,0)		315	551	77 (5,6)	

¹Avser behandling för sträckan där V står för vältat och Ov står för ovältat.

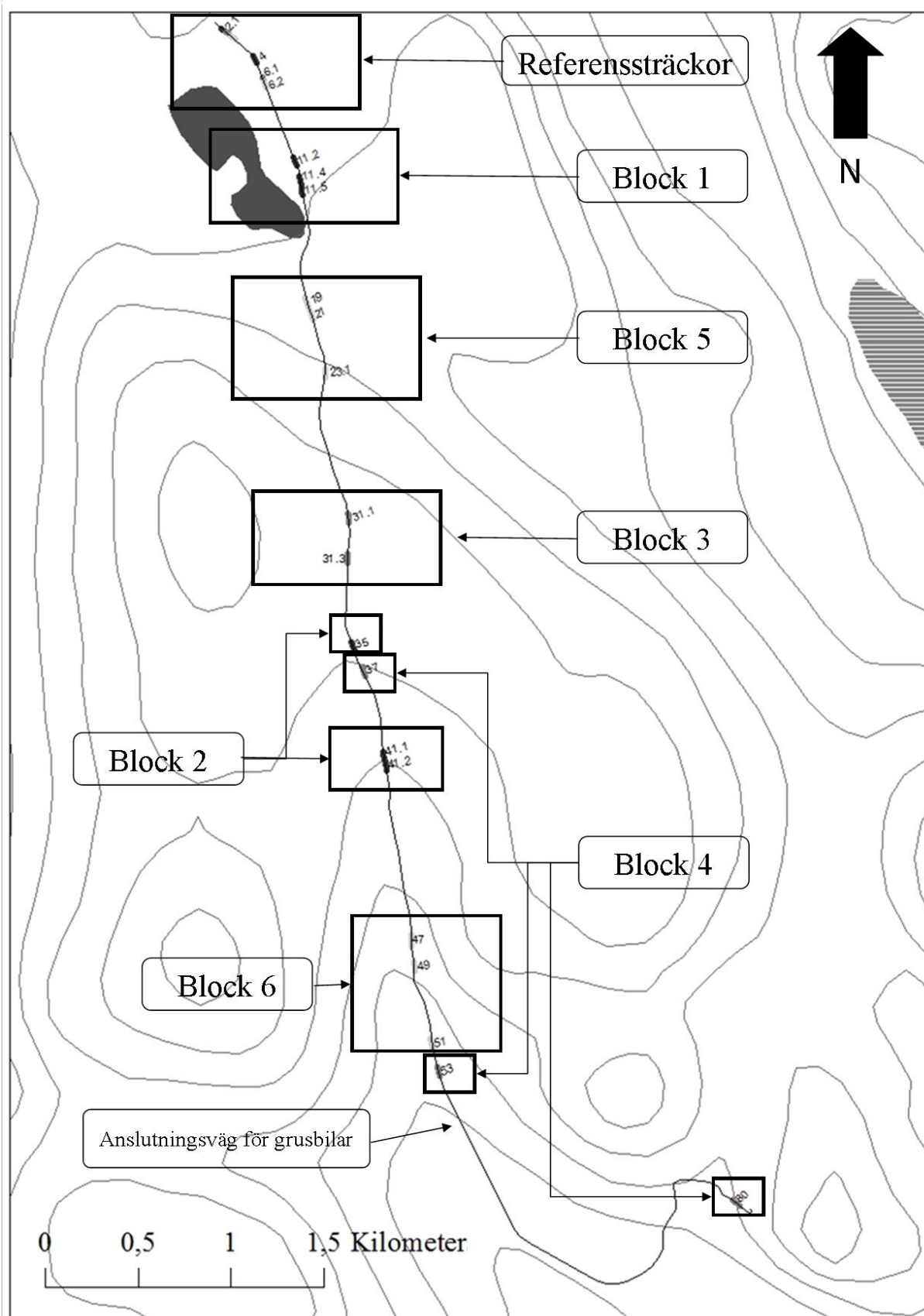
²Nummret avser sträckans numrering i GIS-datat samt i Figur 7.

³Medelvärdet är framräknat utifrån sex tvärsektioner på respektive sträcka.

Då minimikrav fanns på slitlagertjockleken att alltid hålla en tjocklek på minst dubbla tjockleken av största sten (Johansson 2014 Pers. komm.) varierades ej slitlagertjockleken i försöket utan hölls konstant på de rekommenderade 551 ton/km.

2.3.2 Dynamisk deformationsmodul (E_{vd})

Den dynamiska deformationsmodulen från Roadscanners initiala skanning, innan upprustning, varierade mellan 18 och 79 MPa för de tre vältade blockens försökssträckor (Block 1,3 & 5) och mellan 30 och 81 MPa för de tre ovältade blockens försökssträckor (Block 2,4 & 6) (Tabell 6). Bärigheten för referenssträckor i samtliga block varierade mellan 90 och 230 MPa (Tabell 6).



Figur 7. Karta över de sex blockens placering längs väglinjen och desträckor som ingår i respektive block samt anslutningsvägens läge på vägen © Lantmäteriet, i2012/901.

Figure 7. Map of the six blocks position along the road and the sections included in each block as well as the connecting road location on the road © Lantmäteriet, i2012/901.

2.3.3 Upprustning av vägen med grusning och vältning

Grusning med krossat bergmaterial till satt målnivå för de sex blocken (Tabell 6) genomfördes med tre grusbilar under mycket torra förhållanden på en hård terrass. Grusmängderna togs från en närliggande täckt och kördes in via en anslutningsväg lokaliserad ca sex km in från vägens början (Figur 7). Den totala mängden grus transporterad längs vägen uppgick till 8 736 ton. Efter att bärlagret 0-80 påfördes sträckorna längs vägen drogs materialet ut till full vägbredd med en hyvel vartefter slitlagret 0-32 lades på. Sträckorna slutjusterades med en andra hyvling efter att slitlagret påförts där det drogs ut till full vägbredd samt att terrassens tvärfall justerades och jämnades till. Slutligen vältades anvisade sträckor inför spårdjupsstudien och kommande uttransport av virke. Välten som användes i studien var en Dynapac 16 tons envals vibrationsvält. Vibration användes för att packa materialet på anvisade sträckor för ökad densitet, där välten kördes på en sträcka som ej var avsedd för vältning var vibrationen avstängd. Operatören av välten avgjorde med erfarenhet och den av operatören upplevda vibrationen i vältens hytt när sträckorna packats fullständigt, med tre till sex överfarter per sträcka.

2.3.4 Bestämning av vattenkvot genom provgrovsgrävning

Vattenkvoten bestämdes i skiktet 0-1 m under markytan för vägsträckorna inom samtliga block i försöket genom provgrovsgrävning med spade. Vattenkvoten i vägen bestämdes vid två tillfällen, efter slutjustering av terrassen samt efter uttransport av virke med ett prov per sträcka och tillfälle. Detta jordprov togs på den östra sidan av körbanan i mitten av respektive sträcka vilket innebar 25 meter in på försökssträckorna och 15 meter in på referenssträckorna. Detta för att undvika subjektiva punkter, som kan anses som enklare att inhämta. Provstorleken varierade mellan 1 000-2 000 gram ur vilken en provmängd om ca 500 gram togs ut efter noggrann uppblandning enligt SGF (1996) metodik. Vattenkvoten fastställdes genom att materialproverna torkades under 24 timmar i 105 grader Celsius och beräkningar enligt Formel (1) (Larsson 2008).

$$\text{Formel (1)} \quad w = \frac{m_w}{m_s} * 100$$

Där:

w var vattenkvoten i %, m_w var vattnets massa i gram samt m_s var torra jordens massa i gram.

Vid det första tillfället då jordprover för vattenkvoten togs, bestämdes även jordarten för respektive provpunkt. Jordarten för samtliga punkter bedömdes vara av likvärdig struktur och sammansättning. Fältbedömning fastställde underbyggnaden/undergrundens material för samtliga prover till att vara normalmorän.

2.4 Fältförsök med virkesbilar

2.4.1 Generellt

Vid fältförsöket användes åtta virkesbilar med släpvagn i ett grupplastarsystem (Tabell 7). Samtliga virkesbilar var utrustade med däck av typen dubbelmontage samt saknade kran (Figur 8). Alla bilarna var utrustade med tre axlar och släpvagnarna med fyra axlar.

Tabell 7 Fordonsdata för de inblandade gruppbilarna i försöket
Table 7 Vehicle data for the forest trucks in the experiment

Bil nr	Märke	Fordon			Märke	Vagn			Totalvikt bil+släp (kg)
		Totalvikt (kg)	Taravikt (kg)	Däckdimensioner (mm.tum)		Totalvikt (kg)	Taravikt (kg)	Däckdimensioner (mm.tum)	
1	Scania R480	27 000	10 720	295/80.22,5	Kilafors	36 000	5 620	265/70.19,5	63 000
2	Scania R500	27 000	11 000	295/80.22,5	Parator	36 000	5 680	265/70.19,5	63 000
3	Volvo FH500	30 000	11 140	295/80.22,5	Parator	36 000	5 740	265/70.19,5	66 000
4	Volvo FH460	26 000	10 650	12R22,5	Kilafors	36 000	5 500	265/70.19,5	62 000
5	Scania R500	27 000	11 000	295/80.22,5	Kilafors	36 000	6 060	265/70.19,5	63 000
6	Volvo FH500	30 000	10 885	295/80.22,5	Parator	36 000	5 740	265/70.19,5	66 000
7	VolvoFH	30 000	11 070	295/80.22,5	Parator	36 000	5 760	265/70.19,5	66 000
8	Scania R500	27 000	10 470	295/80.22,5	Kilafors	36 000	6 060	265/70.19,5	63 000



Figur 8. En av virkesbilarna som användes i försöket. Foto: Oscar Gustafsson.
Figure 8. One of the trucks used during the test. Photo: Oscar Gustafsson.

2.4.2 Spårdjupsmätningar

Spårdjupsstudien genomfördes i mitten på oktober inom försöksområdet då en uttransport av totalt 2602 m³ fub skedde. Samtliga vägsträckor (Tabell 6) trafikerades av 56 turer, där en tur avsåg två överfarter där en var lastad och en var olastad. Förarna av fordonen instruerades att variera spårvalet i sidled minimalt. Detta för att säkerställa största möjliga påfrestning av

sträckorna. Genom detta förfarande var det möjligt att koppla spårdjupet till antalet överfarter och inte till spårvalet för den enskilda virkesbilen.

Vid spårdjupsmätningen användes en planlaser av märket Spectra precision laser HV301 med måtkäpp och laserometer HL700. Planlasern hade en mätnoggrannhet på ± 3 mm vid 30 meters avstånd (Anon. 2014) vilket var betydligt längre än de 20 meter som förekom under försöken, varför noggrannheten sannolikt var högre.

Varje sträcka inom blocken mättes med sex tvärsektioner vardera. Spårbildningen i vägkroppen fastställdes genom att körbaneprofilen mättes för de sex tvärsektionerna inom varje sträcka före (referensmätning) samt efter uttransporten av virke. De sex tvärsektioner per sträcka som mättes placerades med ett mellanrum av en tiondels sträcka. Detta gav 5 meters mellanrum på försökssträckorna och 3 meters mellanrum på referenssträckorna räknat från sträckans mitt. För varje enskild sektion identifierades det av Roadscanner angivna MPa värdet för bärighet vilket utgjorde terrassbärighet. Detta möjliggjorde för analyser av spårdjupet med avseende på initialt uppmätt bärighet. Spårdjupet efter 56 överfarter mättes på samtliga tvärsektioner och för tvärsektion nummer fyra i ordningen räknat från vägens början mättes spårdjupet efter 8, 24, 40 respektive 56 turer för att fastställa vägens succesiva nedbrytning. Detta då det enligt Karlefors (2014) var i inledningsskedet som spårbildningen var som störst.

Vid mätningarna i respektive block på de sex tvärsektionerna per sträcka användes en nollspik eller berg i dagen som fixhöjd, i förhållande till denna mättes körbanans höjd på ett avstånd av 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380 samt 400 cm från körbanans västra ytterkant. Det mätvärde från respektive väghalva där den största registrerade förändringen i förhållande till referensmätningen registrerats angavs som den uppkomna spårbildningen i höger respektive vänster väghalva. Tvärsektionens spårbildning fastställdes enligt Karlefors (2014) förfarande som medelvärde av höger respektive vänster maximala spårdjup på varje tvärsektion. Detta förfarande var en anpassning av (Anon 1997) med kortare avstånd mellan de inmätta tvärsektionerna, 5 resp. 3 meter, istället för de angivna 20 metrarna.

2.5 Beräkningar och analyser

För att fastställa huruvida vattenkvoten var signifikant skild mellan blocken genomfördes en ANOVA-analys för respektive av de två mättillfällena. För att fastställa om det fanns signifikanta skillnader i spårbildning mellan de olika behandlingarna (vältad samt ovältad) användes ett ensidigt T-test. För att avgöra om det fanns signifikanta skillnader i spårbildningen mellan de olika materialnivåerna (100 %, 75 % respektive 50 %), mellan referenssträckan och försökssträckorna inom respektive block genomfördes ett tvåsidigt T-test. Signifikansnivån sattes till $p \leq 0,05$.

Regressionsanalys användes för att undersöka huruvida spårbildning var beroende av materialmängd, behandlingsmetod och/eller initial bärighet eller en samspelseffekt mellan någon av dessa sattes de som förklarandevariabler för spårdjup. En Generell Linjär Model (GLM) användes för analysen. För att undersöka om den initiala bärigheten var signifikant skild mellan de olika blocken användes ett Tukey-test. I regressionsanalysen sattes materialmängd (100, 75 och 50) och behandling (vältad och ovältad) som kategoriska förklarandevariabler. Bärighet som uppmätts för terrassen på respektive tvärsektion av Roadscanner sattes som en kontinuerlig variabel med bärighetsvärden (MPa) för respektive tvärsektion. Fler förklarandevariabler kunde inte användas då det inom regressionsanalys krävs att variablerna är oberoende av varandra (Chatterjee & Hadi 2006), varför vattenmängd samt kornstorlek uteslöts då båda korrelerar med bärighet. Chi2-test gjordes för att testa om variansen signifikant skilde sig med avseende på uppmätt spårdjup mellan referens- och försökssträckor samt mellan vältade och ovältade sträckor. Kraven för att utföra en regressionsanalys var uppfyllda, residualerna var normalfördelade, hade konstant varians och var oberoende av varandra (Bilaga 3).

3 Resultat

Inga signifikanta skillnader gällande vattenkvoten före uttransporten av virke uppvisades mellan de sex blocken ($p = 0,106$) (Tabell 8). Medelvärdet för vattenkvoten för samtliga block var 18 % med en standardavvikelse på 2 %. Medelvärdet för Block 2 avvek mest från övriga block.

Tabell 8. Vattenkvoter (%) före spårdjupsmätning för de sex blocken

Table 8. Water quotas (%) before rut depth study for the six blocks

Block 1		Block 2		Block 3		Block 4		Block 5		Block 6	
Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot
2.1	12	4	34	2.2	12	6.1	9	2.3	12	6.2	10
11.2	14	35	12	11.7	Struken	37	14	19	12	47	14
11.4	15	41.1	38	31.1	15	53	25	21	21	49	15
11.5	26	41.2	31	31.3	24	80	15	23.1	11	51	24
Medel	17		29		17		16		14		16
StDev	6		12		6		7		5		6

Inga signifikanta skillnader gällande vattenkvoten efter uttransporten av virke uppvisades mellan de sex blocken ($p = 0,675$) (Tabell 9). Medelvärdet för vattenkvoten för samtliga block var 19 % med en standardavvikelse på 7 %. Medelvärdet för Block 2 avvek mest från övriga block.

Tabell 9. Vattenkvoter (%) efter spårdjupsmätning för de sex blocken

Table 9. Water quotas (%) after rut depth study for the six blocks

Block 1		Block 2		Block 3		Block 4		Block 5		Block 6	
Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot	Sträcka	Vattenkvot
2.1	13	4	23	2.2	13	6.1	9	2.3	13	6.2	10
11.2	27	35	9	11.7	Struken	37	11	19	15	47	17
11.4	17	41.1	60	31.1	25	53	31	21	11	49	19
11.5	14	41.2	14	31.3	27	80	19	23.1	15	51	19
Medel	18		27		22		18		14		16
StDev	6		23		8		10		2		4

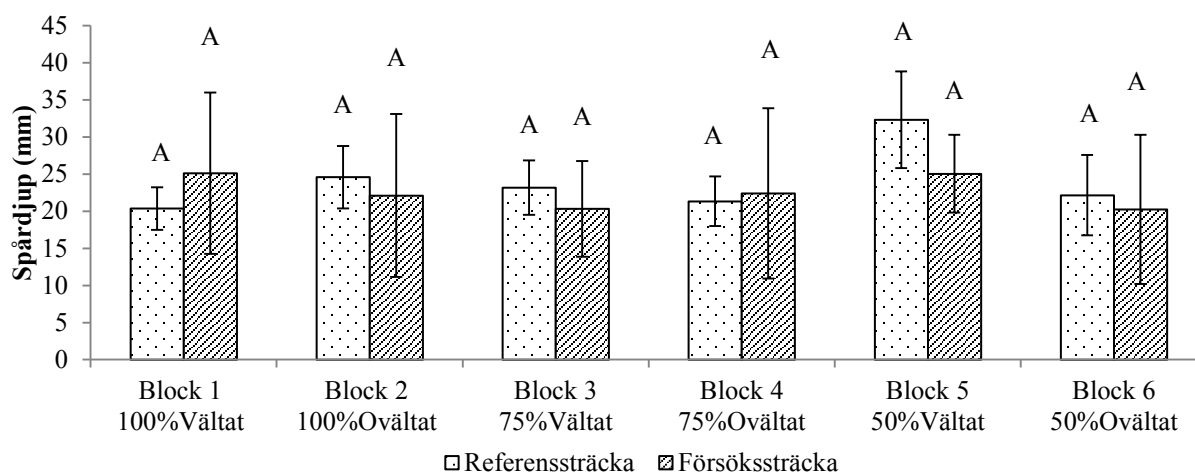
Skillnaden i spårbildning i vägbanan mellan referenssträckan och försökssträckor varierade mellan 1,1 mm och 7,3 mm oberoende av materialmängd eller behandling för de sex blocken (Figur 9).

Inom **Block 1** uppvisade referenssträckan 23,8 mm spårdjup och försökssträckorna 25,1 mm spårdjup. För **Block 2** var spårdjupet på referenssträckan 24,6 mm och försökssträckorna 22,1 mm, **Block 3** hade för referenssträckan 23,2 mm spårdjup och försökssträckorna 20,3 mm spårdjup. För **Block 4** var spårdjupet på referenssträckan 21,3 mm spårdjup och försökssträckorna 22,1 mm, för **Block 5** var spårdjupet på referenssträckan 32,3 mm och

försökssträckorna 25,1 mm och **Block 6** hade för referenssträckan 22,2 mm spårdjup och försökssträckorna 20,3 mm spårdjup (Figur 9).

Inga signifikanta skillnader uppvisades för Block 1, 2, 3, 4, 5 resp. 6 ($P=0,665$; $0,401$; $0,387$; $0,736$; $0,061$ resp. $0,389$), block 5 var dock signifikant skilda vid $p = 0,1$, där referenssträckan uppvisade en kraftigare spårbildning än försökssträckorna. Variationen inom försökssträckorna var stor på samtliga block utom block 3 resp. 5 vilka båda var vältade.

Ingen tydlig trend kunde heller urskiljas med avseende på referenssträckornas uppmätta spårbildning i förhållande till försökssträckorna, där fyra av sex block hade en högre spårbildning på referenssträckan i förhållande till försökssträckorna.



Figur 9. Medelvärden för spårdjup inom de sex blocken i försöket på referens- respektive försökssträckorna med standardavvikelse, staplar med samma upphöjda stora bokstav är ej signifikant skilda inom Block-paren.

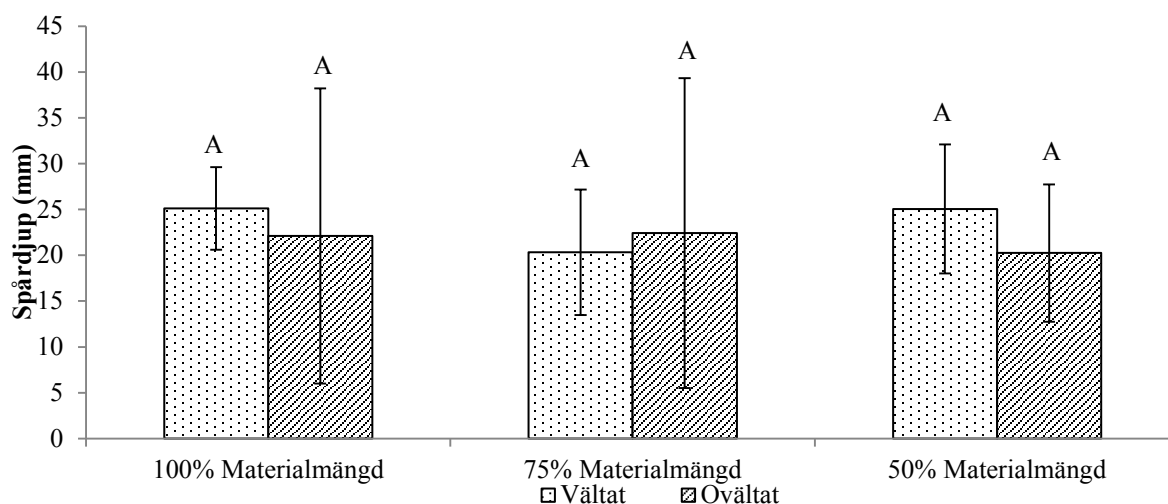
Figure 9. Mean values for rut depth in the six Blocks on the reference and the test sections with standard deviation, stacks with the same lofty big letter is not significantly different in Block pairs.

Ingen signifikant skillnad urskiljdes mellan vältade och ovältade sträckor vid 100 % materialmängd (Block 1 och Block 2) ($p = 0,440$) (Figur 10) och differensen i spårdjup var 3 mm. Medelspårdjup för försökssträckorna i Block 1 var 25,1 mm och för Block 2 22,1 mm (Figur 10). För de vältade sträckorna (Block 1) var medelvärdet för bärigheten 10,7 MPa lägre än för de ovältade sträckorna (Block 2) (54,4 MPa resp. 66,1) (Tabell 10).

Ingen signifikant skillnad urskiljdes mellan vältade och ovältade sträckor vid 75 % materialmängd (Block 3 och Block 4) ($p = 0,507$) (Figur 10), differensen i spårdjup var 2,1 mm. Medelspårdjup för försökssträckorna var för Block 3 20,3 mm och för Block 4 22,4 mm (Figur 10). För de vältade sträckorna (Block 3) var medelvärdet för bärigheten 15,5 MPa högre än för de ovältade sträckorna (Block 4) (55,9 MPa resp. 40,4 MPa) (Tabell 10).

Ingen signifikant skillnad urskiljdes mellan vältade och ovältade sträckor vid 50 % materialmängd (Block 5 och Block 6) ($p = 0,108$) (Figur 10), differensen i spårdjup var 4,8 mm. Medelspårdjup på försökssträckorna var för Block 5 25,1 mm och för Block 6 20,3 mm (Figur 10). För Block 5 var spårdjupet nästan signifikant skilt på $p = 0,01$ där de vältade

sträckorna uppvisade en större spårbildning än de ovältade i motsats till teorin. För de vältade sträckorna (Block 5) var medelvärde för bärigheten 2,3 MPa lägre än för de ovältade sträckorna (Block 6) (39,9 MPa resp. 42,3 MPa) (Tabell 10). Variationen inom de olika blocken var minst vid 50 % materialmängd. Inom de block som inte vältats vid 100 % resp. 75 % materialmängd (Block 2 resp. Block 4) uppvisades stora variationer.



Figur 10. Spårbildning i mm för 100-, 75 samt 50 % rekommenderad materialmängd på vältad respektive ovältad materialmängd med standaravvikelse. Olika bokstäver inom Block-paret indikerar signifikant skillnad mellan behandlingarna ($p < 0,05$).

Figure 10. Rutting in mm on 100-, 75 and 50 % recommended material amount on compacted respective uncompactd amount of material with standard deviation. Different letters within each Block-pair indicates significant difference between treatments ($p < 0,05$).

Det fanns signifikanta skillnader mellan blocken vad gäller bärighet på de olika blocken från den inledande skanningen. Block 2 var skilt från övriga block, Block 1 och 3 var ej skilda från varandra men skilde sig från övriga block. Det fanns ingen skillnad mellan Block 4, 5 och 6 (Bilaga 4).

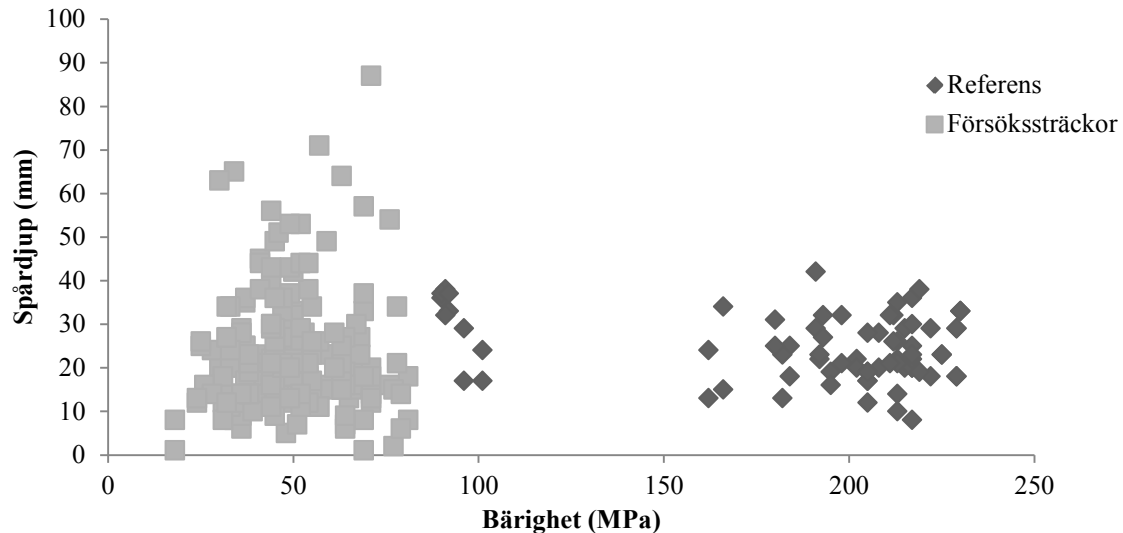
Regressionsanalysen med spårdjup som respons (Bilaga 4), visade att det inte fanns några signifikanta skillnader mellan de förklarande variablerna (100%, 75 % och 50 %), behandling (Vältad/ovältad) eller initial bärighet (p -värden se Tabell 10). Endast en liten del av modellen förklarades av de ingående variablerna (Bilaga 4). Förklaringsgraden hade ett värde av 1,32 %, vilket innebär att fler förklarandevariabler krävs för att erhålla en signifikant modell.

Tabell 10. Förklarande variabler och samspelseffekter som användes vid regressionsanalysen med respektive värdes p -värde

Table 10. Explanatory variables and interaction effects that were used in the regression analysis of each value p -value

Variabel	P-värde
Materialmängd	0,364
Behandling	0,182
Bärighet	0,201
Materialmängd*Behandling	0,141
Materialmängd*Bärighet	0,239
Behandling*Bärighet	0,179

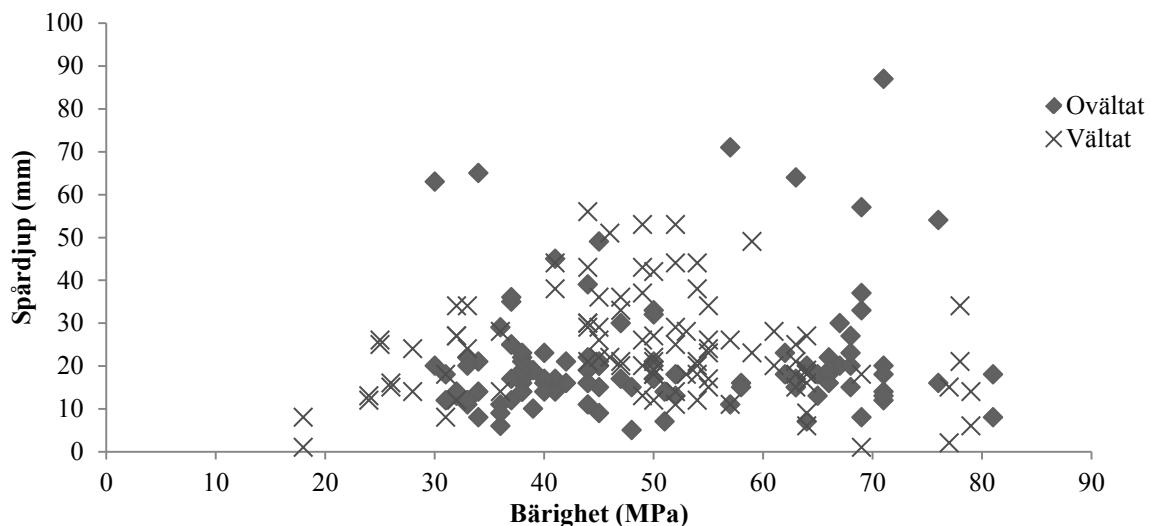
Variansen för spårdjup inom försökssträckorna var 174, motsvarande siffra för referenssträckorna var 57. Detta innebär en större spridning i värdena för försökssträckorna (Figur 11). En signifikant skillnad kunde därmed urskiljas mellan referenssträckor och försökssträckor oavsett behandling (vältad resp. ovältad) ($p = 0,001$).



Figur 11. Spridning av uppmätta spårdjupsvärden fördelat på bärighet för referens- respektive försökssträckor.

Figure 11. Spread of measured rut depth values distributed on bearing strength of the reference and test sections.

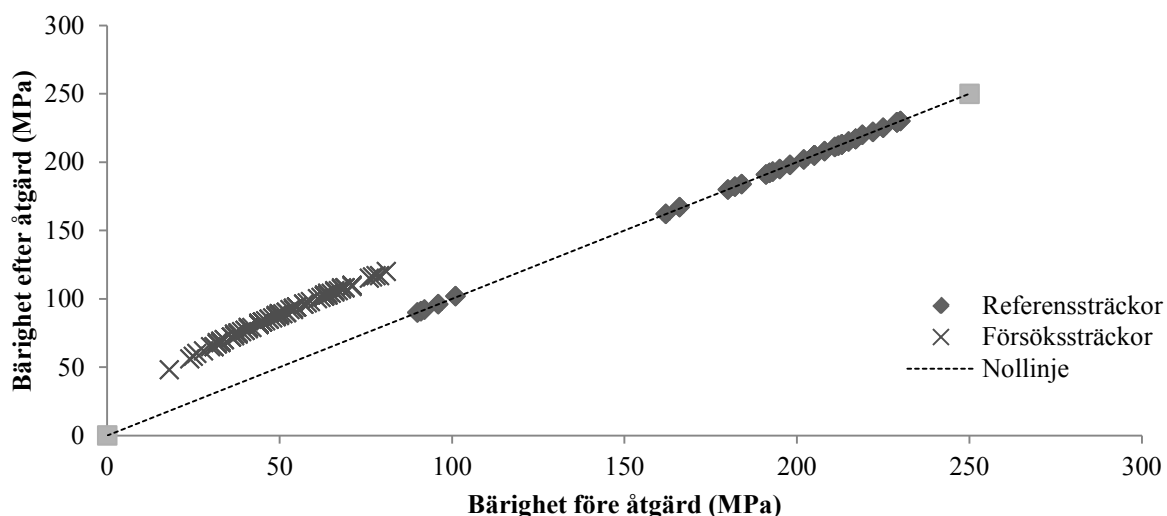
Spårbildningen var liten på samtliga försökssträckor oberoende av materialmängd och behandlingsmetod. Variansen i spårdjup var dock högre för de ovältade sträckorna (203) än för de vältade (140). En signifikant skillnad i spårdjup kunde därmed urskiljas mellan vältade och ovältade sträckor ($p = 0,001$) (Figur 12).



Figur 12. Spårdjup fördelat på behandlingsmetod för samtliga block, där de ovältade sträckorna har en större variation än de vältade.

Figure 12. Rut depth divided into treatment on the blocks, where uncompacted sections have a larger variation than the compacted.

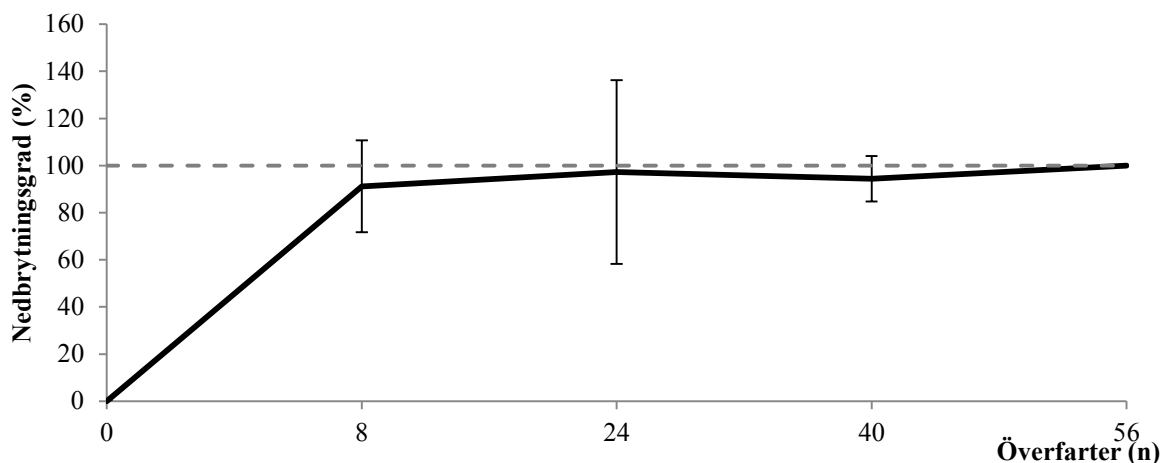
Effekten av det påförda materialet var på referenssträckorna obefintlig (Figur 13) däremot var det tydligt att det på försökssträckorna, vilka hade en lägre bärighet, fanns en tydlig effekt av det påförda materialet (Figur 13).



Figur 13. Materielmängdens relativa bärighetshöjande effekt på referenssträckor respektive försökssträckor mellan initial bärighet (X) och bärighet efter behandling (Y).

Figure 13. The relative impact of material amount on the reference and experimental sections between the prior (X) and post (Y) treatment bearing capacities.

Majoriteten av spårbildningen (91 %) uppkom under de första åtta överfarterna varefter spårbildningen stabiliserade sig till ytterligare ca tre procentenheter större spårbildning efter varje 16 turer (Figur 14). Detta oberoende av påförd materialmängd på sträckan. Standardavvikelsen (StDev) var 30 % efter 24 överfarter som följd av enstaka extremvärden.



Figur 14. Spårdjup uttryckt i procent av spårdjup vid 56 turer, vertikala linjer visar StDev vid respektive mättillfälle.

Figure 14. Rut depth expressed as a percentage of rut depth at 56 tours, vertical lines show StDev at each measurement occasion.

Typen av spårbildning skilde sig inte åt mellan blocken beroende på behandling eller materialmängd. Det var i huvudsak en kombination av typ 0 (en ren packning av materialet) och typ 1 (skjuvning av överbyggnadsmaterialet i sidled) spårbildning (Figur 15-16) som uppstod på samtliga försökssträckor.



Figur 15. Spårbildning kombinerad av Typ 0 och Typ 1 inom Block 3. Foto: Oscar Gustafsson.
Figure 15. Combination of rutting Type 0 and Type 1 in Block 3. Photo: Oscar Gustafsson.



Figur 16. Spårbildning kombinerad av Typ 0 och Typ 1 inom Block 4. Foto: Oscar Gustafsson.
Figure 16. Combination of rutting Type 0 and Type 1 in Block 4. Photo: Oscar Gustafsson.

4 Diskussion

4.1 Huvudsakliga resultat

Denna studie ämnade jämföra spårbildningen i överbyggnaden efter en upprustning vid tre olika materialnivåer samt hur denna var beroende av kompakteringen av överbyggnaden (vältad/ovältad). Dessa skillnader är intressanta vid upprustning av skogsbilvägar då underhållet av vägnätet är en stor kostnad för skogsbolagen samt även för privata markägare (Epstein m.fl. 1999).

Resultatet från detta examensarbete visar att det inte fanns några signifikanta skillnader vad gäller spårbildning oavsett materialnivå (100, 75 resp 50 %) eller behandling (vältad/ovältad). Då ingen signifikant skillnad heller uppvisades mellan referenssträckan och försökssträckorna inom något av blocken tyder detta på att varken materialmängden eller behandlingen varit nödvändig på någon av försökssträckorna i den omfattning som användes. Dessa antaganden gjordes förutsatt att referenssträckorna inte behövt något material för att klara belastningen från virkestransporter. Resultatet från Block 5 där en signifikant skillnad uppvisades mellan referenssträckan och försökssträckorna vid en signifikansnivå på 10 % istället för 5 % talar dock emot att referenssträckorna skulle klarat belastningen utan material. Då signifikansnivån höjts innebär detta ett mer osäkert resultat jämfört med en lägre signifikansnivå.

På ingen av sträckorna blev spårbildningen så pass stor att det hindrade virkesbilarnas framfart. Spårdjupet varierade mellan 1 mm och 87 mm och utgjordes på de flesta sträckorna av en kombination av typ 0 och typ 1 spårbildning. Spårbildningen blev generellt sett större i absoluta tal på de vältade sträckorna (Block 1, 3 & 5). Detta skulle kunna förklaras med att sidoförflyttningen av löst grus mellan virkesbilarnas överfarter var större på de oväلتade sträckorna (Block 2, 4 & 6) medan gruset på de vältade sträckorna endast tryckts ned och åt sidorna utan någon möjlighet till materialförflyttning i sidled.

Skillnaden i vattenkvot mellan de olika blocken anses haft ringa påverkan på försöket då inga tydliga effekter av den höjda vattenkvoten utlästs och StDev för Block 2 ej är större än den för Block 4.

Skillnaden i spårdjup varierade mer inom en behandlingstyp (vältad/ovältad) än det gjorde mellan de två olika behandlingstyperna. Beräkningarna för spårdjup utfördes i enlighet med Karlefors (2014) genomförande, vilken utgått från Anon (1997). Utifrån detta kan antas att det genomgående varit en för kraftig dimensionering alternativt att väderförhållandena varit allt för goda för att maximalt belasta vägen. Då september var nederbördsfattig kan detta inneburit att vägkroppen varit torrare än normalt för årstiden vilket i sin tur medfört en bättre bärighet vid studiens genomförande. Detta antagande styrks av regressionsanalysen vilken visar på att fler förklarandevariabler krävs för att uppnå en signifikant ekvation för spårbildningen (Bilaga 4). Genom subjektiva iakttagelser observerades att den kraftigaste spårbildningen längs vägens totala längd såväl på men främst utanför de utlagda blocken,

fanns generellt där vägbredden var stor. Typiska platser där spårbildning uppstod var vändplatser och i korsningar samt även i anslutning till backar främst i backbottnar. Orsaken till att ingen inmätning gjordes var att inget referensmått före uttransporten fanns för dessa platser. Partier över myrar eller där dikesbotten var mycket nära överbyggnaden på vägen samt sträckor med stående vatten i diken var partier som generellt påverkades mer av trafikeringen i form av spårbildning och materialförflyttningar. Detta då vattenkvoten i vägen på dessa platser bör ha varit högre, vilket sänker bärigheten (Haynes & Swift 1990; Dawson & Kolisoja 2006). Vattenkvoten mättes endast på blocken varför det inte går att säga något om vattenkvoten på de subjektivt observerade punkterna. Dessa subjektivt inventerade faktorer (vägbredd, avstånd till grundvatten, stående vatten i diken och myrar) kan sannolikt i fortsatta studier användas för att bättre förklara spårbildningen.

Målbilden för dimensioneringen har från både SCA och Roadscanner varit att klara kraven för en B-bärig väg med tolerans för spårbildning, utan säkerhetsmarginaler i dimensioneringsunderlaget. Givet att en reduktion till 50 % materialmängd skulle vara möjlig skulle detta innebära en teoretisk besparing av materialkostnader på ca 50 000 kr/km givet materialmängder för en B-bärig väg enligt Anon. (2006). Med tydligare punktinsatser längs en vägsträcka kan sannolikt den totala materialåtgången minskas ytterligare och därigenom kostnaden med 20-40% då en möjlighet att reducera materialåtgången med 50 % indikeras i denna studie. Med vältning visades en mindre variation i spår djup än för de ovältade sträckorna. Detta innebär att vältning sannolikt är en åtgärd som bör nyttjas mer, för att kunna uppnå en väg av jämnare standard samt en försvårad vattendrängning i vägkroppen (Jonsson m.fl. 1991).

Då subjektiva åtgärdsförslag ges är dessa starkt beroende av besiktningsmannen samt vilket arbetssätt och riktlinjer denne använt sig av. Därmed kan materialplaceringen längs med en vägsträcka variera mellan olika besiktningsmän (Boman 2012).

4.2 Jämförelse med tidigare studier

Denna studie visade inte på någon signifikant reduktion i spårbildning som följd av vältning av vägbanan, något som enligt Datta m.fl. (2013) och Jonsson m.fl. (1991) skall ge en reducerad spårbildning givet den högre packningsgraden i det vältade materialet. Enligt Jonsson m.fl. (1991) skall en ökning med 1 % i densiteten innebära en ökning av hållfastheten och bärigheten med 15 %, något som inte påvisades i denna studie. Det finska företaget Roadscanner används för att scanna både belagda och obelagda vägar i Norden och har i likhet vid denna studie, tidigare kunnat rekommendera en tillräcklig materialmängd för att efter upprustning klara trafikbelastningen (Christoffersson & Johansson 2012). Dock visade resultatet från denna studie att skillnaden mellan 100 % och 50 % rekommenderad materialmängd inte skiljer sig nämnvärt vad det gäller den efterföljande spårbildningen. Mycket lite av den forskning där Roadscanner gett dimensionerings- och åtgärdsstöd har skett på skogsbilvägar (Johansson m.fl. 2007) något som denna studies huvudsakliga inriktning varit mot. Majoriteten av de studier som tidigare genomförts och den dimensioneringsmängd

som funnits rimlig för dessa har varit anpassad främst för allmänna vägar (Johansson & Johansson 2007; Saarenketo 2006, 2001). Det allmänna vägnätet har satta lägsta-gränser gällande bärighet för att motstå spårbildning (Anon. 2011b), något som inte finns för skogsbilvägar i samma utsträckning. Projektering med GPR och FWD för att fastställa åtgärdsbehovet kommer sannolikt att bli allt vanligare i framtiden då det möjliggör för en mer detaljerad åtgärdsplan (Saarenketo & Scullion 1999) med ett mer riktat insatsarbete, vilket kan minska kostnader. Då huvudsyftet med skogsbilvägar är att transportera virket från skog till industri (Filipsson & Grahn 1999) accepteras spårbildning längs vägen i större utsträckning, vilka återställs efter genomförd transport (Johansson 2014 Pers komm.).

4.3 Tillämpning

De resultat som visats i denna studie är tillämpbara under förutsättning att liknande omständigheter rent vädermässigt inför och under studien råder samt att studieobjektet är av liknande beskaffenhet. Då studieobjektet var konstruerat redan under 1960-talet (Mähler 2014 Pers. komm) har denna vägkropp haft många decennier att sätta och stabilisera sig. Ett stort antal virkestransporter har sannolikt också redan skett längs vägen under dessa decennier. Detta innebär att den virkestransport som skedde under denna studie efter upprustningen inte bör ha så stor påverkan på undergrunden, då denna redan satt sig. Inom SCA Skog Ångermanlands förvaltning rustar ett antal mil äldre terrasser årligen (Johansson 2014 Pers. komm.) med en undergrund av huvudsakligen normalmorän. För dessa vägsträckor bör resultatet från denna studie vara generaliserbart. För mer nybrutna terrasser där inga sättningar i undergrunden skett, är resultaten från denna studie inte generaliserbara i samma grad, då dessa inte packas lika hårt behövs sannolikt en materialmängd liknande den som använts i denna studie. Detta då en lägre densitet i vägkroppen ökar risken för sättningar (Jonsson m.fl. 1991) vilket i det här fallet uttrycks som spårbildning. Vid studier på nybrutna terrasser av normalmorän under liknande förhållanden bör resultaten från denna studie kunna användas för jämförelser.

4.4 Egen kritik

Studieobjektet var initialt av mycket god beskaffenhet och hade riktats upp och dikesrensats inför den kommande upprustningen. Detta innebar en kraftig förbättring av vägens initiala bärighet. En väg av sämre initiala beskaffenhet, såsom en nybruten terrass borde ha valts för att en analys av de olika materialnivåernas samt behandlingens (vältad/ovältad) inverkan på spårbildningen bättre skulle kunna genomföras. Studieobjektet för detta arbete var på förhand utvalt av SCA att ingå i ett större projekt på grunderna att stora problem upplevts på studieobjektet med tidigare virkestransporter under höstförhållanden. För dimensionering av en B-bärig väg enligt SCA:s egen dimensioneringsmall (Anon. 2006) skall 1630 ton/km påföras. Det förslag som Roadscanner efter den initiala skanningen gav för upprustningen av vägen var 100 ton/km högre materialmängd än den som SCA Skog normalt använder sig av.

Anslutningsvägen för grusbilars lokalisering resulterade i att sträcka 80 hamnade bakom denna väg och utsattes för ett lägre antal överfarter med grusbilar. Av de totalt transporterade 8736 tonen var 6 042 ton (135 överfarter) norrut och 2 694 ton (65 överfarter) transporterades söderut, mot vägens slut vilket innebär en lägre initial belastning för sträcka 80. Att antalet överfarter med grusbilar skilde sig mellan sträcka 80 inom Block 3 och resterande sträckor kan ha påverkat resultatet genom att olika mängd packning skett på sträckorna. Mängden grus som transporterades över sträckorna varierade, där sträckorna i början av vägen utsattes för färre fullastade överfarter än de sträckor närmare anslutningsvägen grusbilarna använde sig av. Om ett kortare vägavsnitt använts som studieobjekt, hade troligtvis en mindre spridning i antalet överfarter med grusbilar på respektive sträcka kunnat erhållas. Denna problematik kan frångås genom att göra tester på vägsystem med kortare vägar där den sammanlagda transporten. För denna studie kunde ett upplägg med större variation i ingående bärighet på sträckorna valts för att hålla sträckorna bättre samlade längs vägen. En högre koncentration hade minskat skillnaden i antalet överfarter mellan olika sträckor.

Spårdjupsstudien utfördes under en veckas tid med 8 turer första dagen och därpå följande dagar med 16 turer vardera upp till 56. Detta innebär en något högre belastning än vad som är vanligt vid uttransport även med grupplastarsystem (Johansson 2014 Pers. komm.). Att studera spårdjupsutvecklingen under en sådan kort tidsperiod med intensiv och kontinuerlig trafikering ger en maximerad belastning på vägen. En annan aspekt med att utföra studien under en så intensiv period är att risken för felkällor i form av obehörig trafik eller variationer i väderförhållanden minimeras. Perioden för inmätning av blocken och uttransport hade sannolikheten kunnat göras ännu intensivare än vad som gjordes i denna studie. Detta var dock inte möjligt under denna studie, detta till följd av att skotning av virke ut till väg samt uttransporten av virke till industri ingick i ordinarie verksamhet. Detta hade till följd att en anpassning av antalet mätpunkter som mättes in dagligen gjordes, detta för att mätpunkterna skulle hinna mätas in mellan uttransport av virke under för- och eftermiddagen. Under försöksperioden trafikerades vägen sannolikt av någon enstaka personbil, vilka bedömdes ha ringa påverkan på spårbildningen.

Kornstorleksfördelningen i vägkroppen bestämdes genom våtsiktning i laboratorium utifrån prover tagna från skiktet 0-1 meter under körbanan. Våtsiktningen möjliggjorde för en säkrare bestämning av finjordsfraktionen mellan proven än vad en torrsiktning gjort. Provpunkterna ansågs som representativa då de valt av Roadscanner utifrån den struktur de urskilt i skanningsunderlaget. Skanningsdatat ger ett betydligt mer detaljerat underlag och möjliggör för val av representativa punkter på ett bättre sätt än vad exempelvis provgropsgrävning ger, vilket gör att de provpunkter som valdes ut för jordartsbestämning bedömts som representativa. Det är därför inte troligt att ett större antal punkter skulle gett en större variation i kornstorleksfördelning, men däremot kunde ett större antal provpunkter ytterligare ha styrkt att normalmorän verkligen var dominerande för hela vägen.

Under perioden före spårdjupsmätningen genomfördes, hade nederbörds mängden under september månad kraftigt avvikit från månadsmedelvärdet (Figur 6). Detta kan ha inneburit att studieobjektet höll en högre bärighet än normalt, då vattenkvoten troligtvis var lägre än

den varit under normala förhållanden. Dock var nederbördsmängden för början av oktober fram till spårdjupsstudiens början samt perioden för spårdjupsmätningen kraftigt över månadsmedelvärdet. Det som sannolikt haft störst påverkan på försöket om någon alls är en onormalt torr september vilket resulterat i att vägkroppen inte utsatts för en så riklig vattenmängd som är normalt för årstiden. Under oktober föll dock normala regnmängder och har troligen skapat en vattenkvot i vägen normal för årstiden.

Inventeringsförfarandet med objektiva metoder för projektering av en väg är i relation till konventionella subjektiva inventeringsmetoder mycket kostsamt. Detta bland annat då ett stort datamaterial samlas in, vilket i dagsläget inte är nödvändigt och därmed inte används vid projekteringen. Denna objektiva metod användes i detta försök då SCA önskade skapa en uppfattning om huruvida denna metod var lämplig i praktiskt skogsbruk och skogsbilvägsprojektering. Då denna objektiva metod inte har tillämpats praktiskt inom skogsbruket tidigare, förutom i enstaka projekt, har en del missförstånd mellan parterna uppstått. Bland dessa kan nämnas utformning av levererat datamaterial och föreslagna materialmängder. Denna anpassning mellan SCA och Roadscanner gällande terminologi och arbetsmetodik kommer förhoppningsvis bli bättre med ett fortsatt samarbete. En annan möjlighet med en objektiv inventeringsmetod kontra konventionella subjektiva metoder är att en helhetsbild både på och under vägytan uppnås. Fler studier krävs för att fastställa hur stor användbarheten för Roadscanners objektiva inventeringsmetod inom skogsvägsprojektering är.

Anpassningar till försöksupplägget med avseende på bland annat sträckornas spridning borde gjorts för att minska den ojämna belastningen. Den låga nederbörden är en faktor som fått accepteras, i synnerhet då försöket i detta fall ingått i ordinarie verksamhet för SCA. Detta har inneburit att uttransporten inte kunnat fördröjas mycket längre in på hösten som följd av råvarubehov vid industri. För fortsatta studier är det önskvärt att genomföra dessa utanför ordinarie verksamhet för att därigenom erhålla en större flexibilitet i försöksgenomförandet.

4.5 Fortsatta studier

För att skapa en bredare förståelse för materialbehovet bör fler studier med flera alternativa materialnivåer på liknande terrassbärigheter genomföras där den tillgängliga kunskapen sammanställas för att skapa en uppdaterad dimensioneringstabell givet Roadscanners inventeringsmetod. SCA Skog har som målsättning att transportera virke på studieobjektet under vårförfall för att ytterligare testa vägen. Detta då vägen efter utförda åtgärder bedöms klara kraven även för en väg med A-bärighet. Detta kan ses som en naturlig vidareutveckling av försöket för att ta tillvara de resurser som satts i projektet. De försökssträckor och block som använts i denna studie skulle då kunna användas för fortsatta inmätningar, detta för att kunna jämföra i vilken utsträckning spårbildning skiljer sig åt mellan höst- och vårförfall.

Det största tillämpningsområdet för Roadscanners teknik som inventeringsmetod är på så kallade ”genomfartsleder” vilket ”Timmerleden” (Christoffersson & Johansson 2012) är ett exempel på. Längs de vägar där stora volymer virke skall transporteras krävs att materialet vid

en upprustning placeras rätt för att erhålla önskad bärighet. På inga sträckor längs vägen har tecken på kraftiga spårbildningar visats, vilket skulle kunna tyda på att placeringen av materialet längs med vägen varit korrekt. Målet för fortsatta studier bör därför vara att anpassa mängden material för att klara belastningen utan en allt för kraftig överdimensionering. Ytterligare studier där Roadscanner används för den inledande inventeringen och projekteringen av en väg bör utföras på vägar av sämre initial bärighet, där stora materialmängder skulle krävas för att klara trafikbelastningen. Detta då dessa vägar relativt sett är dyrare att rusta som följd av ett stort materialbehov och besparingen kan därför vara större på sådana objekt. För att skapa erfarenhetstal bör försök där manuellt genomförda åtgärdsförslag jämföras med förslag framtagna av Roadscanner. För dessa försök kan det uppmätta spår djupet i fält för respektive metod mätas på sträckor av likvärdiga förhållanden, och genom detta få en uppfattning om hur dessa förhåller sig till varandra i fråga om föreslaget materialbehov.

Framtida studier bör även fokuseras på vägar som rustas till A- och B-bärighet från C-bärighet, för vilka besparingspotentialen är störst och där svårigheterna att lokalisera svaga partier är viktigare då tillgänglighetskraven under året på sådana vägar är stora (Tabell 2). För att skapa jämförelsevärden av vilka materialmängder som krävs, där grusbilarnas överfarter och därmed packning inte är en bidragande orsak till de värden som uppmätts, bör korta partier studeras där grusbilarnas överfarter kan minimeras. En minskad grustransport ökar möjligheten att mäta den påförda grusmängdens bärande förmåga, detta före en allt för kraftig packning av terrassen genomförts av grustransporternas egentynghet. Kortare vägar bör därför väljas där en högre koncentration av de utlagda blocken är möjlig för att möjliggöra effektiva mätningar, där större avstånd mellan rekommenderade materialmängder med fördel kan användas. Som exempel skulle materialmängd 100 % 60 %, 30 % & 20 % vara möjlig att dimensionera, givet att rekommendationen för 100 % motsvarar vad som angavs i denna studie och övriga förhållanden är lika. Studien bör utföras under höst eller vår men för årstiderna svåra förhållanden för att på bästa sätt maximalt belasta vägen.

I en fortsatt studie bör en väg väljas som endast avses ingå i försöket och inte skall ingå i ordinarie verksamhet då detta kan skapa intresse motsättningar mellan försöket och att bibehålla nivån av ordinarie verksamhet.

4.6 Slutsatser

- På samtliga försökssträckor var skillnaderna i spårdjup mellan olika försökssträckor och mellan försöks- och referenssträckor 1 och 12 mm. Detta tyder på att en reducering av materialmängd är möjlig utan besvärande spårbildning som följd.
- Inga signifikanta skillnader i spårbildning i överbyggnaden kunde urskiljas mellan de olika materialnivåerna 100 %, 75 % och 50 % av rekommenderad materialmängd på en skogsbilväg med en undergrund av normalmorän.
- Inga signifikanta skillnader i spårdjup kunde urskiljas mellan vältade och ovältade vägsträckor, dock minskade variationen i spårdjup efter vältning.

Referenser

- Alzubaidi, H. (1999). *Drift och underhåll av grusvägar – litteraturstudie*. Linköping: VTI Meddelande 852.
- Anon. (1997). *Vägytemätning av objekt*. Borlänge: Vägverket. Metodbeskrivning Nr 111.
- Anon. (2000). *VVMB 611 Provtagning av obundna material*. Linköping: Vägverket. Publikation Nr 106.
- Anon. (2006). *Vägbyggnadsinstruktion*. Sundsvall: SCA Skog AB. 2:a upplagan.
- Anon. (2011a). *Skogsindustrin - en faktasamling*. Bromma: Skogsindustrierna. Rapport 2011.
- Anon. (2011b). *TRVKB 10 Obundna lager*. Borlänge: Trafikverket. TDOK 2011:265.
- Anon. (2012a). *Rehabilitering av skogsbilväg*. Roadscanner: opublicerat. Erhållet av SCA.
- Anon. (2012b). *TRVMB 112 - Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat*. TRV 2012:050. Borlänge: Trafikverket.
- Anon. (2012c). *TRVMB 114 - Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat*. Borlänge: Trafikverket. TRV 2012:051.
- Anon. (2014). *Produktkatalog*. Stockholm: Mätcenter. 1:a upplagan.
- Berglund, A. (2009). *Tjäle - en litteraturstudie med särskilt fokus på tjällossning*. Luleå: Luleå tekniska universitet, Institutionen för Samhällsbyggnad. ISBN 978-91-86233-98-3
- Boman, J. (2012). *SCA Skogs arbetsmetoder för att fastställa nyttan av en väginvestering*. Umeå: SLU, Skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 376.
- Briggs, R. C. Johnson, R. F. Stubstad, R. N. & Pierce, L. (2000). *Comparison of the Rolling Weight Deflectometer with the Falling Weight Deflectometer*. i: S. D. Tayabji & E. O. Lukanen, redaktör. *Nondestructive testing of pavements and Backcalculation of Moduli*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, ss. 444 - 456.
- Chatterjee, S. & Hadi, A. (2006). *Regression analysis by example*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 4:e upplagan.
- Christoffersson, P. & Johansson, S. (2012). *Rehabilitation of the Timmerleden forest road*. Luleå: Roadex. 1:a upplagan.

- Conyers, L. B. & Goodman, D. (1997). *Ground-penetrating radar: an introduction for archaeologists*. Walnut Creek, Kalifornien: AltaMira Press. 1:a upplagan.
- Datta, T. Roy, T. K. & Roy, S. K. (2013). *Effect of subgrade on rutting of flexible pavement in low volume roads*. Roorkee: Indian Geotechnical Conference, Proceedings.
- Dawson, A. & Kolisoja, P. (2006). *Managing rutting in low volume roads*. Luleå: Roadex III.
- Dawson, A. R. Kolisoja, P. Vuorimies, N. & Saarenketo, T. (2007). Design of Low-Volume Pavementa Against Rutting. *Journal of the Transportation Research Board*. ss. 165 - 172.
- Dow, J. M. Neilan, R. E. & Rizos, C. (2009). The international GNSS service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. *Journal of Geod.* Volym 83, ss. 191 - 198.
- Dynapac. (2000). *Compaction and paving theory and practice*. Svedala: Dynapac Svedala industri AB.
- Epstein, R. Morales, R. Serón, J. & Weintraub, A. (1999). Use of OR systems in the Chilean forest industries. *Interfaces*. 29(1). ss. 7 - 29.
- Eriksson, J. Nilsson, I. & Simonsson, M. (2005). *Wiklanders marklära*. Lund: Studentlitteratur. ISBN: 9789144024820.
- Filipsson, S. & Grahn, B. (1999). *Planera och bygga skogsbilväg*. Jönköping: Skogsstyrelsen. 1:a upplagan.
- Fries, J. (1976). *Körskador och produktionsförluster*. Stockholm: Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. ISSN 0585-3303.
- Granhage, L. (2009). *Kompendium i vägbyggnad*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik. 1:a upplagan.
- Gunnarsson, S. Hallgren, P. & Christoffersson, P. (2011). *Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4*. Skogsstyrelsen. Version 2011-01-01.
- Hannerz, M. & Hallgren, P., (2014). *Vägar*. [Online] <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/vagar/> [Använd 2014-09-02].
- Haynes, R. J. & Swift, R. S. (1990). Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of soil Science*. 41(1), ss. 73 - 83.
- IEG. (2010). *SS-EN/ISO 14688-1. Geoteknisk undersökning och provning identifiering och klassificering av jord*. Stockholm: Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik. Rapport 2010:12.

Johansson, H. G. (1987). *Användning av georadar i olika vägverksprojekt*. Sektionen för geoteknik. Linköping: Vägverket. Rapport 1987:59.

Johansson, S. & Johansson, K. (2007). *Road condition management policies for low volume roads - tests and development of proposals*. Luleå: Roadex. 1:a upplagan.

Johansson, S. Johansson, K. & Ekedahl, F. (2007). *Policies for forest roads - Some proposals*. Luleå: Roadex. Publicerad av Roadex [Online]: <http://www.roadex.org/services/knowledge-center/publications/forest-roads/> [Använd: 2015-03-25]

Johansson, S. (2005). *Road management policies for low volume roads - some proposals*. Roadex II Northern periphery. Publicerad av Roadex [Online]: <http://www.roadex.org/services/knowledge-center/publications/road-condition-management/> [Använd: 2015-03-25]

Jonsson, T. Larsson, M. Löfroth, C. & Filipsson, S. (1991). *Skogsbilvägar service, underhåll och upprustning*. Oskarshamn: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. 1:a upplagan.

Karlefors, G. (2014). *Effekt av Central Tire Inflation på strukturellt svaga skogsbilvägar*. Umeå: SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 11.

Karlsson, R. & Hansbo, S. (1992). *Jordarternas indelning och benämning*. Stockholm: Bygghörsningsrådet. Geotekniska laboratorieanvisningar del 2.

Kramer, B. W. (2001). *Forest road contracting, construction and maintenance for small forest woodlandowners*. Corvallis: Forest research laboratory, Oregon state university. Research contribution 35.

Larsson, R. (2007). *CPT-sondering, utrustning - utförande - utvärdering. En inSitu metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord*. Linköping: Statens geotekniska institut. Information 15.

Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens geotekniska institut. Information 1.

Lidberg, L. (2009). *Texturbestämning genom fält-, pipett- och hydrimetermetoder*. Uppsala: SLU, institutionen för skoglig marklära. Arbetsrapport 20.

Lindskog, G. Rengmark, F. Flodin, N. & Brink, R. (1988). *Geoteknik*. Arlöv: Esselte studium AB. 4:e upplagan.

Löfroth, C. (1995). *Balsjövägen - provväg med stenrik överbyggnad*. Uppsala: Skogforsk. Redogörelse Nr 8.

Neal, A. (2004). Ground penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-science review*, Volym 66, ss. 261 - 330.

Noureldin, A. S. Zhu, K. Li, S. & Harris, D. (2003). Network pavement evaluation using falling weight deflectometer and ground penetrating radar. *Journal of the Transportation Research Board*, Volym 1860, ss. 90 - 99.

Odemark, N. (1949). *Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin*. Stockholm: Statens väginstitut. Meddelande Nr. 77.

Roadex. (2013). *Vad är permanent deformation och varför vi inte tycker om den*. [Online] <http://www.roadex.org/elearning/index.php/swe/permanent3swe> [Använd 2014-05-05].

Saarenketo, T. (2001). *Road condition management in the northern periphery*. Rovaniemi: Roadex. Arbetsrapport Roadex.

Saarenketo, T. (2006). *Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of Ground Penetrating Radar in traffic infrastructure surveys*. Oulu: Faculty of science, Department of geosciences, University of Oulu. Scientiae Rerum Naturalium, 471(Dissertation thesis), ss. 121.

Saarenketo, T. & Scullion, T. (1999). *Road evaluation with Ground Penetrating Radar*. *Journal of applied Geophysics*, 2000 (43), ss. 119-138.

Saarenketo, T. & Scullion, T. (2000). *Integrating Ground Penetrating Radar and Falling Weight Deflectometer Technologies in Pavement Evaluation*. i: S. D. Tayabji & E. O. Lukanen, redaktör. *Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, ss. 23 - 37.

Saeed, A. & Hall, J. W. (2003). Comparison of Non-Destructive Testing Devices to Determine in Situ Properties of Asphalt Concrete Pavement Layers. Washington, DC: TRB. *Journal of the Transportation Research Board*, ss 24.

Skogforsk. (2013). *Skogsbilväg*. [Online] <http://www.skogforsk.se/KunskapDirekt/KraftsamlingSkog/Verktygsladan/Skogsbilvag/> [Använd 2014-09-02].

SMHI. 2014. *Meteorologiska observationer*. [Online] <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/> [Använd 2014-12-31].

Svenska geotekniska föreningen, (SGF). (1996). *Geoteknisk fälthandbok allmänna råd och metodbeskrivningar*. Linköping: Svenska geotekniska föreningen. Rapport 1:96.

Svenska geotekniska föreningen, (SGF). (2013). *Fälthandbok undersökning av förorenade områden*. Göteborg: Svenska geotekniska föreningen. Rapport 2:2013.

Tarefder, R. A. Zaman, M. & Hobson, K. (2003). A laboratory and statistical Evaluation of Factors Affecting Rutting. *International Journal of Pavement Engineering*, 4(1), ss. 59 - 68.

Vartziotis, D. (2006). Feasibility study and development of a GNSS-probe for creating digital maps of high accuracy and integrity. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Volym 48, ss. 2473 - 2481.

Wiman, L. G. (2006). *Accelerated load testing of pavements – HVS-Nordic tests at VTI Sweden 2003-2004*. Linköping: VTI. Rapport 544A.

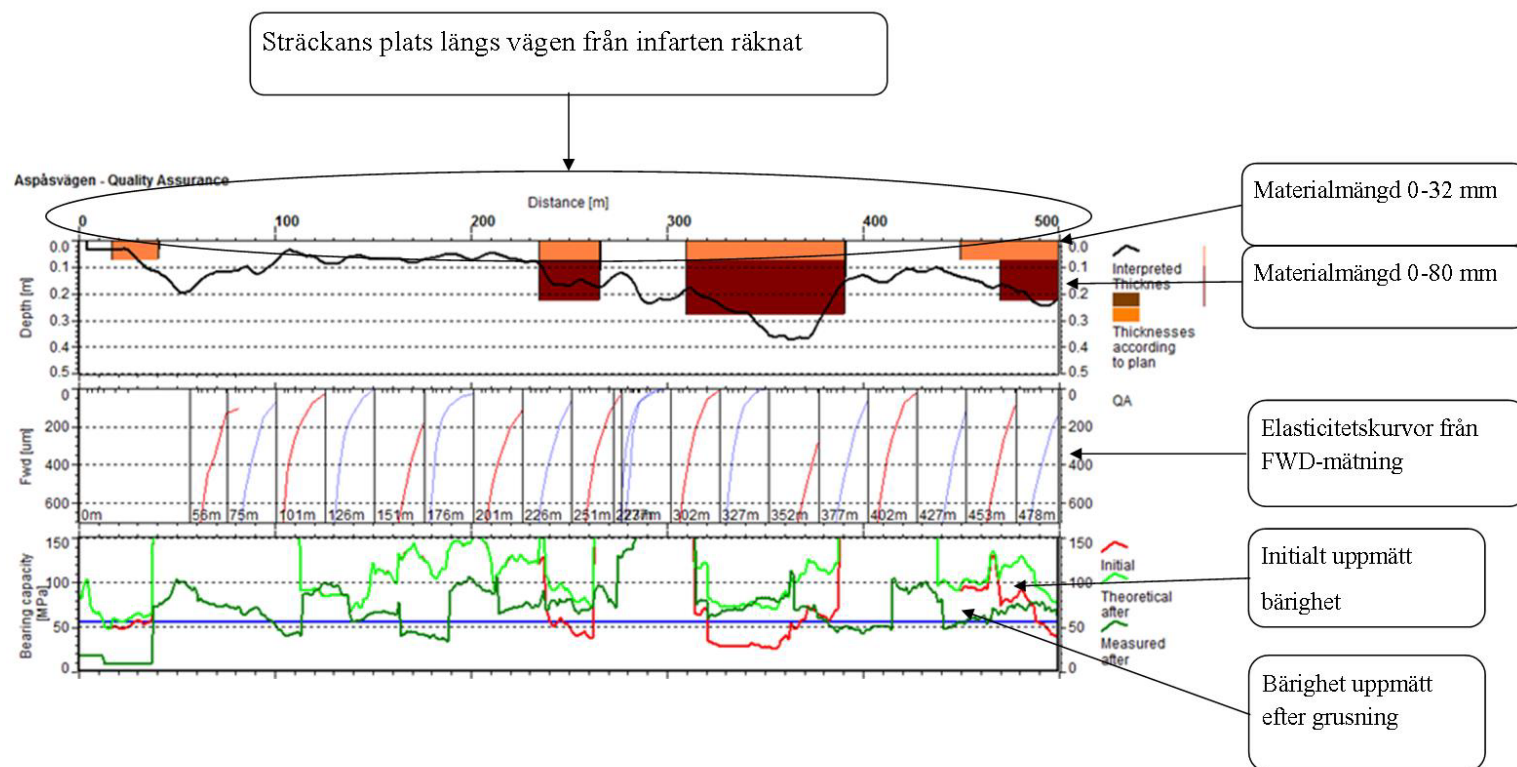
Personlig kommunikation:

Johansson, Tomas. E. (2014). *Teknik och verksamhetsutveckling, SCA* [Personlig kommunikation] (2014-04-28).

Matintupa, Annele. (2014). *Sales Manager Consulting, Roadscanner OY* [Personlig kommunikation] (2014-10-15).

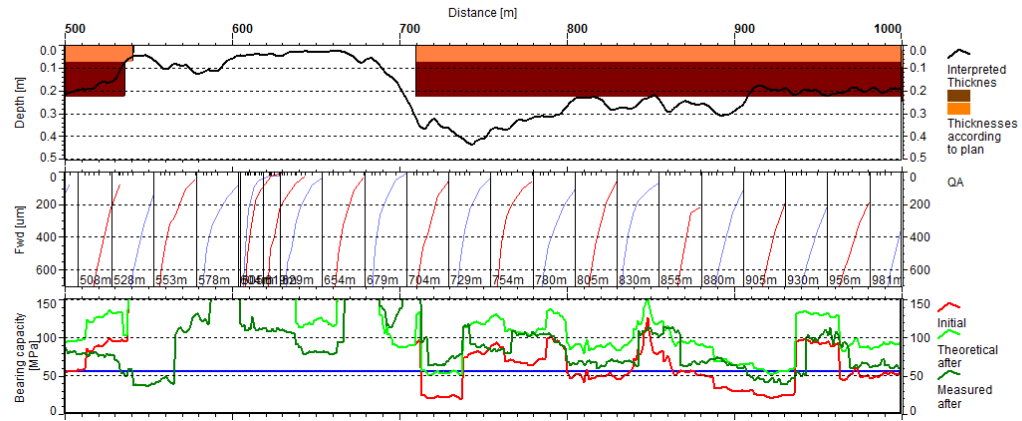
Mähler, Sven. Olof. (2014). *Vägansvarig, SCA Skogs Förvaltning Ångermanland* [Personlig kommunikation] (2014-11-14).

Bilaga 1. Resultat från första resp. andra skanningen med Roadscanner av Aspåsvägen

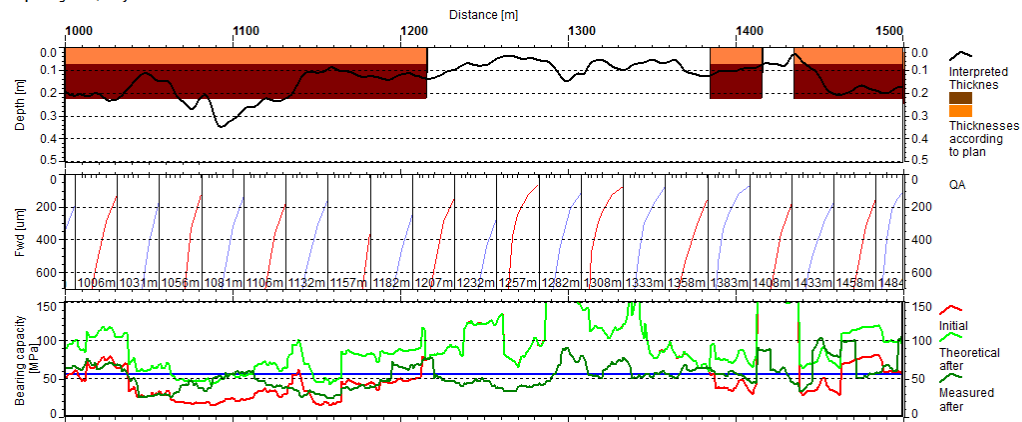


Teckenförklaring för de ingående parametrarna i bilaga 1
 Legend of the parameters included in the Annex 1

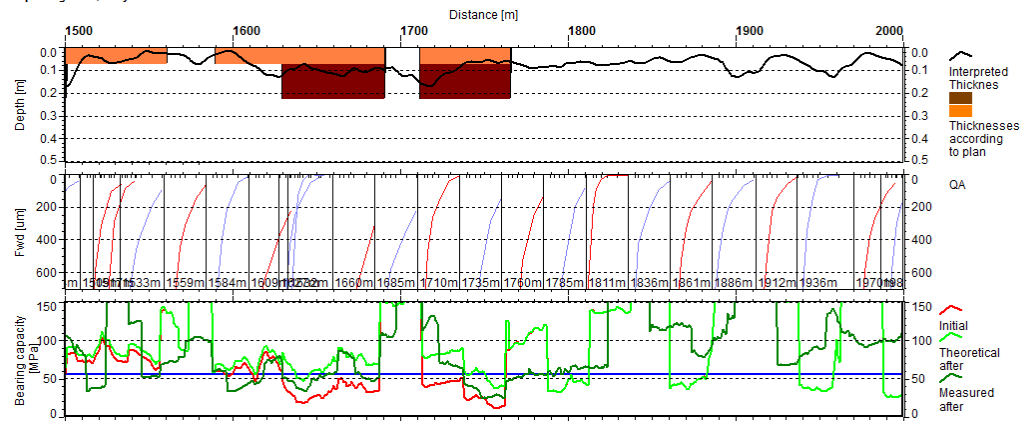
Aspås vägen - Quality Assurance



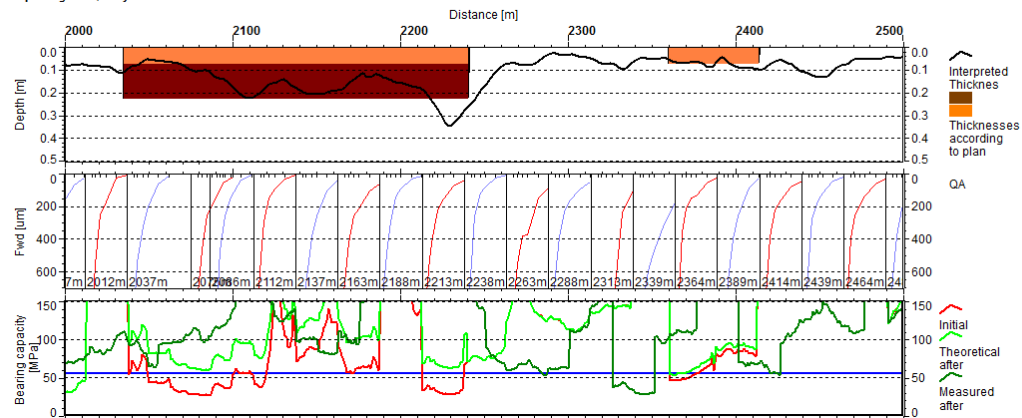
Aspås vägen - Quality Assurance



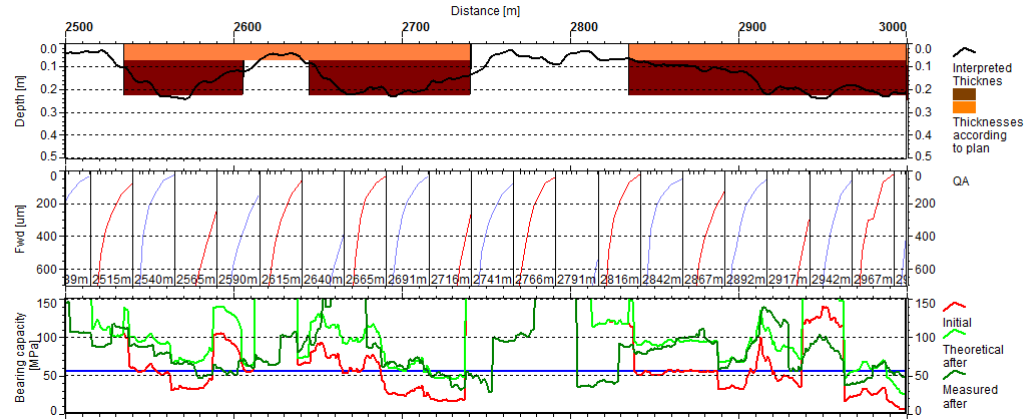
Aspås vägen - Quality Assurance



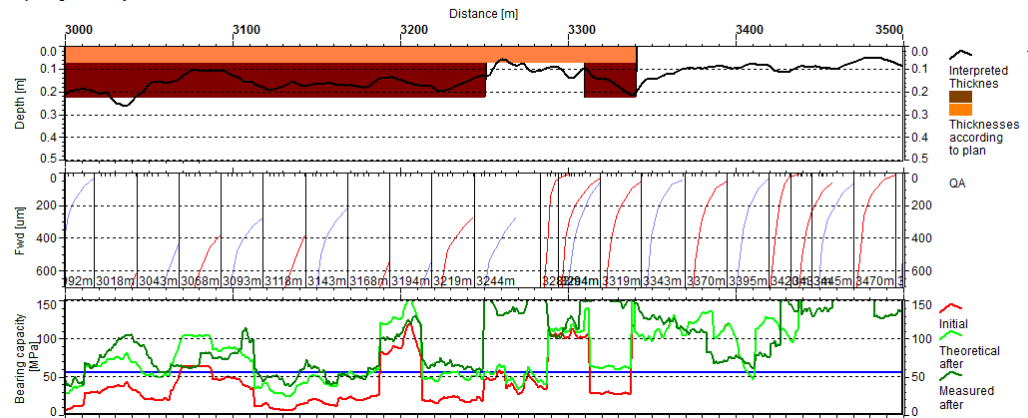
Aspås vägen - Quality Assurance



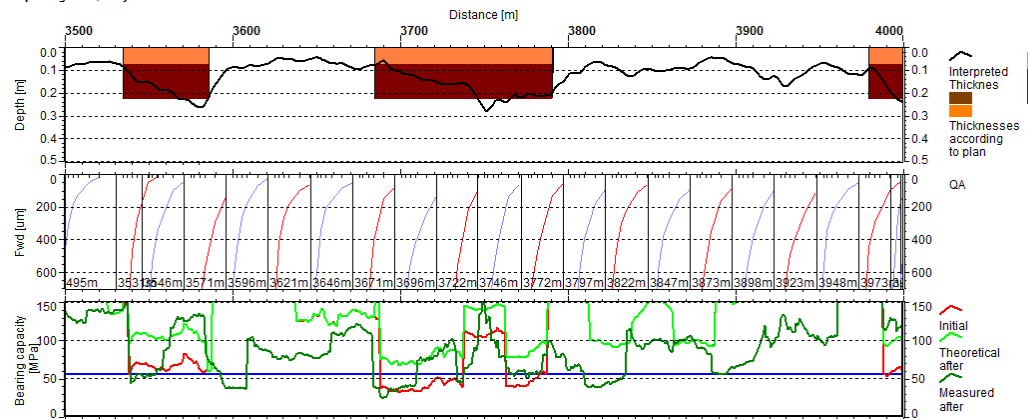
Aspåsvägen - Quality Assurance



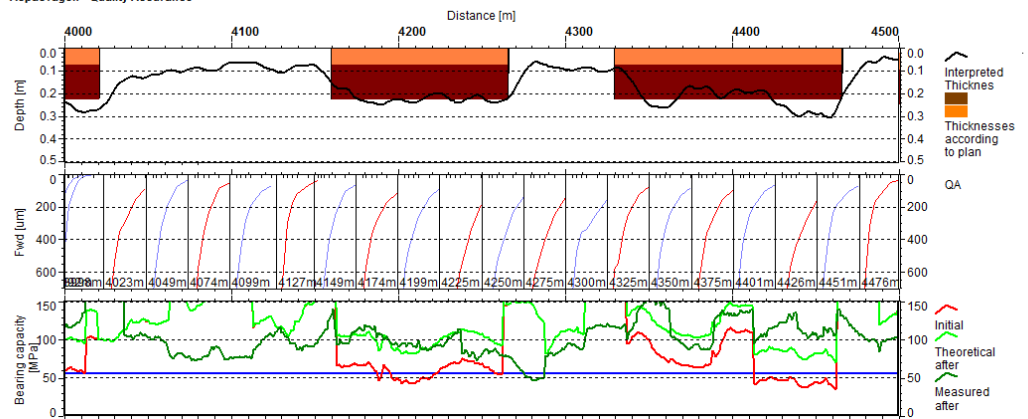
Aspåsvägen - Quality Assurance



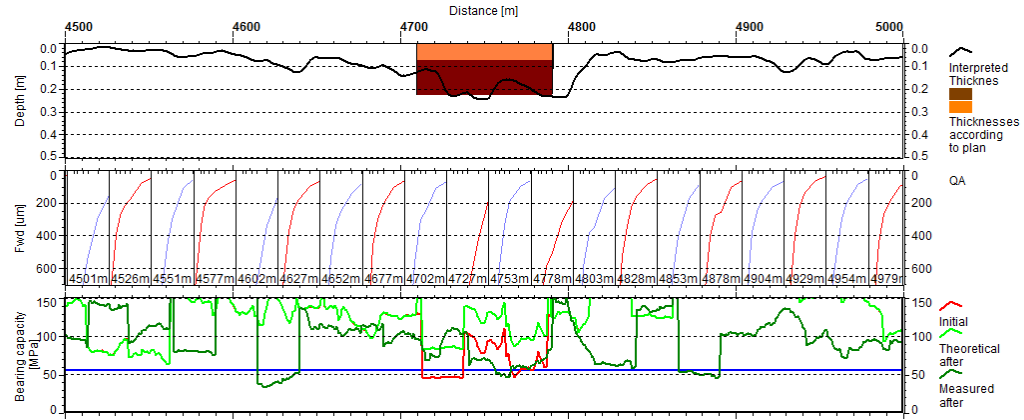
Aspåsvägen - Quality Assurance



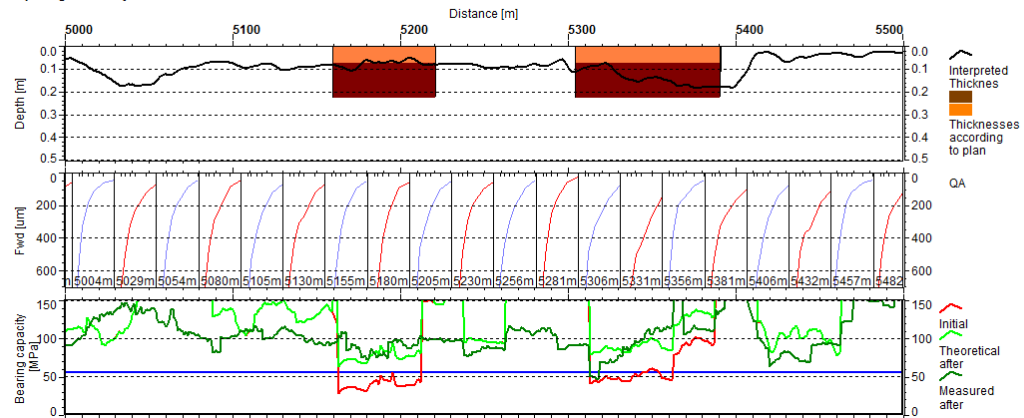
Aspåsvägen - Quality Assurance



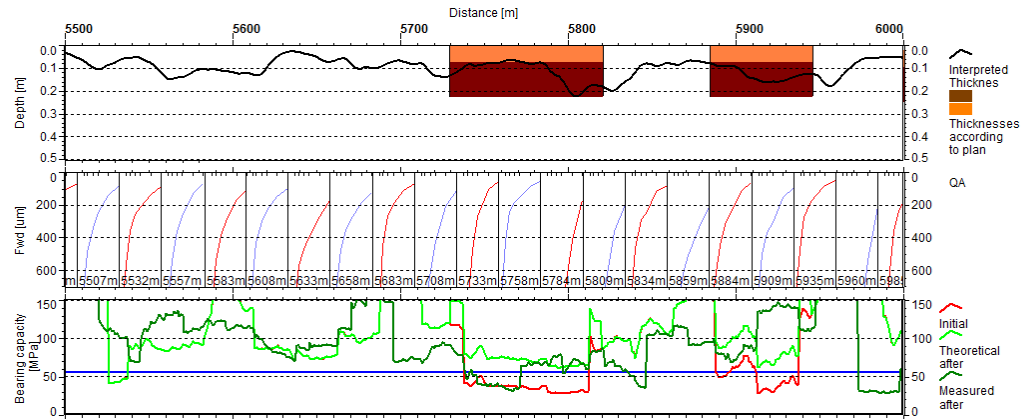
Aspåsvägen - Quality Assurance



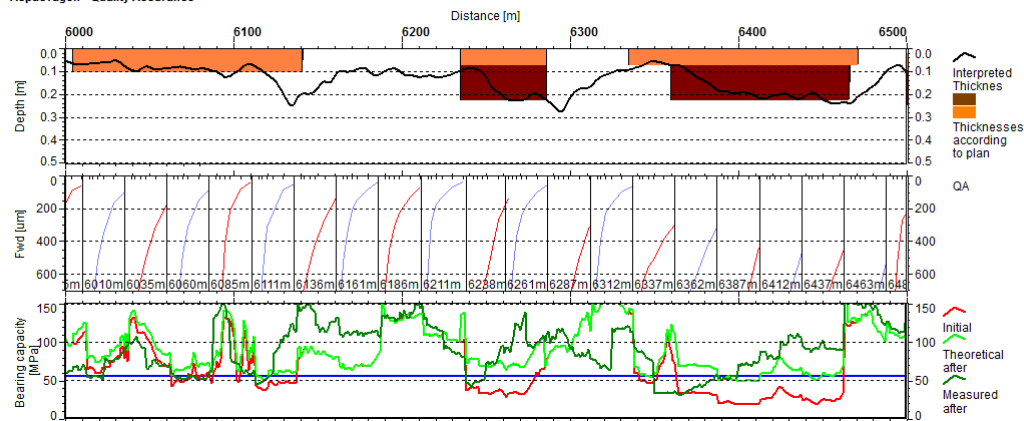
Aspåsvägen - Quality Assurance



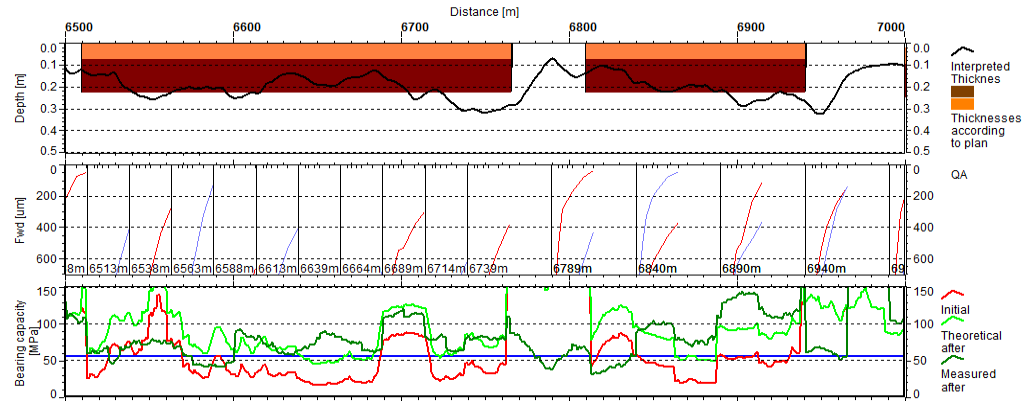
Aspåsvägen - Quality Assurance



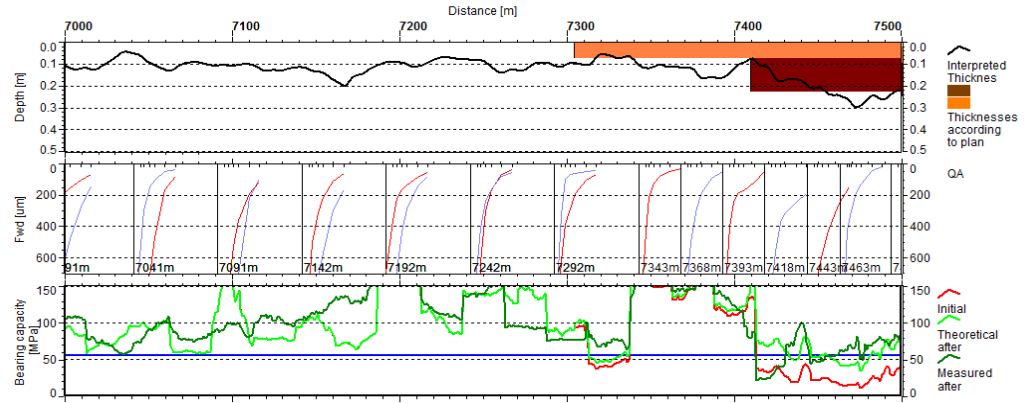
Aspåsvägen - Quality Assurance



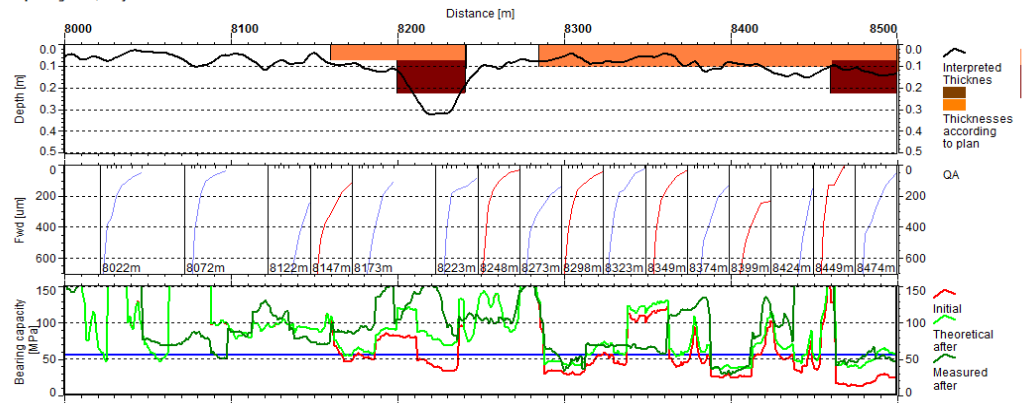
Aspåsvägen - Quality Assurance



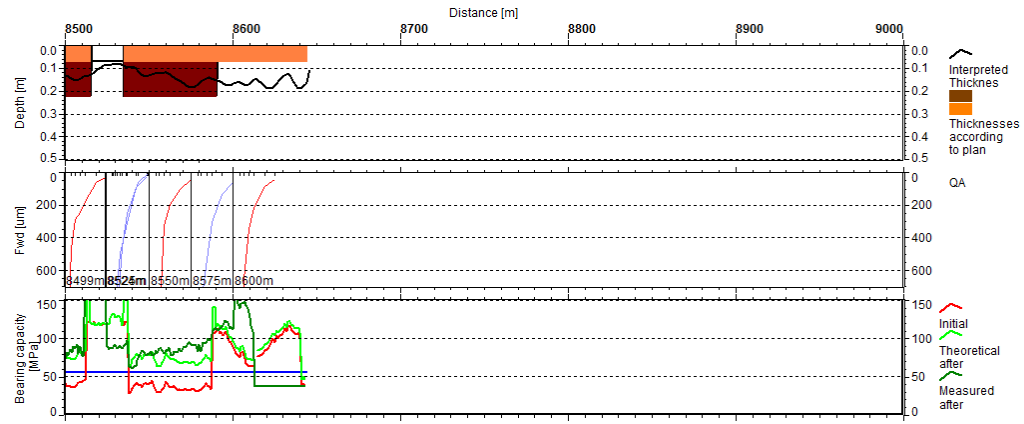
Aspåsvägen - Quality Assurance



Aspåsvägen - Quality Assurance



Aspåsvägen - Quality Assurance



Bilaga 2. Siktningsprotokoll

SKANSKA

RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

POSTOPT: μ and σ are both finite

1603

ISO/IEC 17025

Beställare

SCA Skog AB

Bruksvägen 15

873 80 Bollstjärbruk

Kontaktperson

Christer Olofsson

Produkt

0/16

Leverantör

SCA SKOG AB

Provtagningsdatum

2014-07-31

Ankomstdatum

2014-08-04

Provtagare

Jan Nilsson

Objekt

Entreprenör

SCA Skog AB

Märkning

2100m Åspåsvägen

Analys datum

2014-08-05

ID-nummer

Provtagningsplats

KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 933-1:2012

Gränsvärden enligt: -

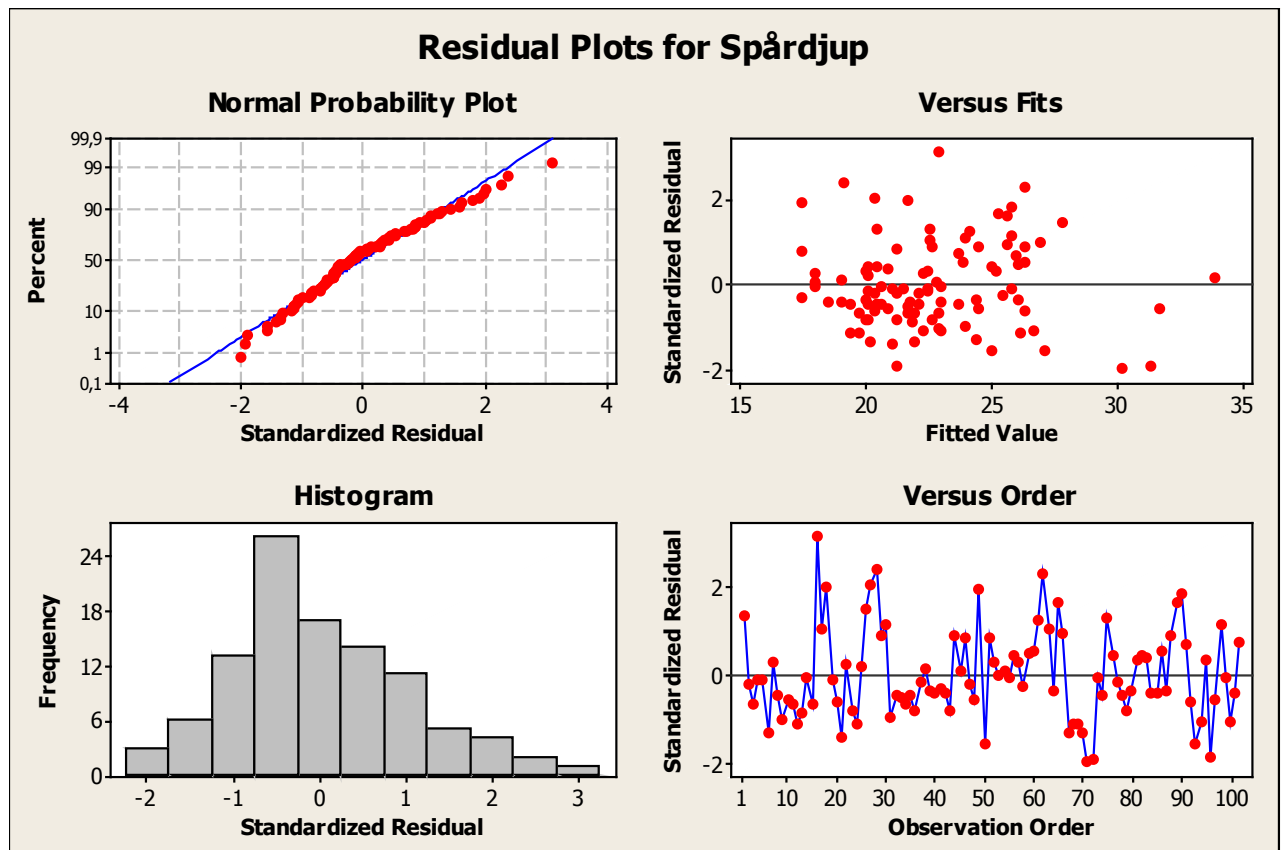
Passerad mängd, vol-%

<

Denna rapport måste återges i sin helhet. Proveresultatet avser levererat prov. Måltidskorthetslista, melodavslagslista och melodlista har överlämnats vid kontraktsgenomgång.

Skanska Sverige AB	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
Teknik - VTC	Ödsbergat	0612-10536	556033-9086	stefan.dahlund@skanska.se
Ödsbergat	Styrörens slätt	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
872 91 Kramfors	Solna		SE 663000022901	www.skanska.se

Bilaga 3. Residualplot för spårdjup



Bilaga 4. General Linear Model: Spårdjup versus Materialmängd; Behandling

Factor	Type	Levels	Values
Materialmängd	fixed	3	50; 75; 100
Behandling	fixed	2	Ovältad; Vältad

Analysis of Variance for Spårdjup, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Materialmängd	2	67,32	199,01	99,51	1,02	0,364
Behandling	1	121,13	175,87	175,87	1,81	0,182
Materialmängd*Behandling	2	198,96	317,98	158,99	1,63	0,201
Bärighet	1	85,26	214,82	214,82	2,21	0,141
Materialmängd*Bärighet	2	355,59	282,64	141,32	1,45	0,239
Behandling*Bärighet	1	178,27	178,27	178,27	1,83	0,179
Error	92	8949,79	8949,79	97,28		
Total	101	9956,32				

S = 9,86308 R-Sq = 10,11% R-Sq(adj) = 1,32%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,106	5,307	3,03	0,003
Bärighet	0,1551	0,1044	1,49	0,141
Bärighet*Materialmängd				
50	0,2055	0,1576	1,30	0,196
75	-0,0169	0,1962	-0,09	0,932
Bärighet*Behandling				
Ovältad	0,1860	0,1374	1,35	0,179

Unusual Observations for Spårdjup

Obs	Spårdjup	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	10,0000	19,3501	5,4507	-9,3501	-1,14 X
16	52,5000	22,8564	2,6787	29,6436	3,12 R
25	35,0000	33,9613	7,3264	1,0387	0,16 X
27	39,5000	20,3455	2,6378	19,1545	2,02 R
28	41,5000	19,0487	3,0843	22,4513	2,40 R
62	48,0000	26,2939	2,4957	21,7061	2,27 R
97	27,5000	31,6992	6,8261	-4,1992	-0,59 X

R denotes an observation with a large standardized residual.

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Materialmängd	N	Mean	Grouping
50	36	25,45	A
75	30	23,00	A
100	36	22,88	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Behandling	N	Mean	Grouping
Vältad	48	24,52	A
Ovältad	54	23,04	A

